



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jarno Sippola

TEHOKAS PAIKALLAVALURAKENTAMINEN

Opas työmaamestareille

Tekniikka ja liikenne
2013

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jarno Sippola
Opinnäytetyön nimi	Tehokas paikallavalurakentaminen
Vuosi	2013
Kieli	suomi
Sivumäärä	67+liitteet
Ohjaaja	Heikki Liimatainen

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on parantaa asenteita ja laatua tehtäessä paikallavalurakenteita. Paikallavalurakentaminen on perinteinen rakennustapa ja rakennusteollisuuden perusta. Työn tarkoituksena on koota tietoa ja tehdä opas Wasacon Oy:n työmaamestareille paikallavalurakenteiden toteuttamisesta.

Tehokas paikallavalurakentaminen -oppaassa kootaan yhteen paikallavalurakentamisen eri osa alueet. Tutkimuksessa on tarkoituksena yhdistää yrityksen oma kokemuseräinen tieto ja kirjallisuuden tieto tiiviiksi oppaaksi. Oppaassa käsitellään betonin materiaaliominaisuudet ja paikallavalurakentamisen työvaiheet kuten muottityöt, raudoitus, betonointi sekä tehtäväsuunnittelu ja työturvallisuus.

Tehokas paikallavalurakentaminen on osatekijöidensä summa. Haasteensa rakenteen toteuttamiseen antavat betonin ominaisuudet ja paikallavalurakenteen eri työvaiheet muottityöstä jälkihoitoon.

Tehokas paikallavalurakentaminen on nopeaa, edullista, laadukasta ja turvallista. Jotta se olisi kaikkia näitä, on tuotanto suunniteltava, valvottava ja johdettava ammattitaidolla väheksymättä yhtään työvaihetta tai laadun osatekijää.

Avainsanat	paikallavalurakentaminen, betonointi, raudoitus, muottityöt, betoni
------------	---

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Rakennustekniikka

ABSTRACT

Author	Jarno Sippola
Title	Efficient Reinforced Concrete Construction On Site
Year	2013
Language	Finnish
Pages	67 + 1 Appendix
Supervisor	Heikki Liimatainen

The purpose of the thesis is to improve the attitudes and the quality of reinforced concrete construction work. Reinforced concrete construction work on the site is traditional construction method and it is the base of the industry. The purpose of the thesis is to prepare a guide for WasaCon Oy.

The concrete construction on site-guide combines different areas of the concrete work. The guide explains all phases of concrete work for example form work, reinforcing, concrete casting and aftercare. Guide offers also examples for working safety, work planning and scheduling.

Efficient concrete work consists of several stages of work. Concrete material properties provided challenges to the work planning. Therefore, it can be said concrete is a material available that requires precision and respect. Reinforced concrete work on site is a fast, an economic and a high quality construction method when the production processes are planned controlled and managed systematically.

Keywords	Learning, stimulation, teaching methods
----------	---

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	9
2	OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS JA TAVOITTEET	10
2.1	Oppaan sisältö ja rajaus	10
2.2	Oppaan toteutus	11
2.3	Oppaan ulkoasu ja kuvat	11
3	PAIKALLAVALURAKENTAMISEN TEKNIikka	12
3.1	Betoni materiaalina	12
3.1.1	Betonin raaka-aineet	13
3.1.2	Betonilaadut ja rasitusluokat	16
3.1.3	Lujuudenkehitys	19
3.2	Muottityöt	22
3.2.1	Muottityön suunnittelu ja muottijärjestelmän valinta	22
3.2.2	Muottikierto	24
3.2.3	Työsaumat	25
3.2.4	Muottien tarkastus	27
3.2.5	Muottijärjestelmät ja muottien tukirakenteet	27
3.3	Raudoitustyön kulku	32
3.3.1	Hankinta ja varastointi	33
3.3.2	Raudoitteiden valmistus ja siirto	34
3.3.3	Raudoitteiden asennus	36
3.3.4	Raudoituksen tarkastus	37
3.4	Betonointi	38
3.4.1	Betonin tilaus	39
3.4.2	Betonimassan siirrot	40
3.4.3	Betonin valu ja tiivistys	41
3.4.4	Jälkihoito	44
3.4.5	Muottien purku ja puhdistus	45
3.4.6	Valuolosuhteet ja talvibetonointi	47

3.4.7	Työnaikainen laadunvalvonta	50
3.4.8	Mahdolliset virheet ja betonin vauriot	51
4	TUOTANNON SUUNNITTELU	53
4.1	Tehtäväsuunnittelu	53
4.1.1	Suunnitelmien arviointi ja vaihtoehtoiset työmenetelmät.....	54
4.1.2	Aikataulu	55
4.1.3	Paikallavalurakenteen kustannukset.....	56
4.1.4	Laadunvalvonta ja laadunvarmistus	58
4.2	Työturvallisuus paikallavalurakentamisessa.....	59
4.2.1	Muottityön turvallisuus	60
4.2.2	Raudoitustyön turvallisuus.....	61
4.2.3	Betonoinnin työturvallisuus	61
5	PROJEKTIN IDEA JA TOTEUTUS	62
5.1	Taustaselvitykset.....	62
5.2	Työn suunnittelu ja toteutus	63
5.3	Oppaan kokoaminen	63
6	POHDINTA JA ARVIOINTI.....	63
7	YHTEENVETO	64
	LÄHTEET.....	65
	LIITTEET	

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1.	Betonin lujuudenkehitys kypsyysikänsä T_{20} funktiona.	s. 21
Kuva 2.	Rapid-sementtiä sisältävän betonin lujuudenkehitys kypsyysikänsä T_{20} funktiona.	s. 21
Kuva 3.	Muottityön suunnittelun tekijät.	s. 22
Kuva 4.	Prosessikuvaus muottikierron työvaiheista.	s. 24
Kuva 5.	Pilarianturan kappaletavaramuotti.	s. 28
Kuva 6.	PERI-seinämuottijärjestelmä WasaCon Oy:n parkkitalo työmaalla	s. 30
Kuva 7 ja 8.	Doka- holvimuottijärjestelmää WasaCon Oy:n Vaasan sähkönsä parkkitalotyömaalta	s. 31
Kuva 9.	Formex valmismuotti	s. 32
Kuva 10.	Esimerkkikaavio raudoitustyön kulusta.	s. 33
Kuva 11.	Holvin raudoitusta WasaCon Oy:n Vaasan sähkönsä parkkitalotyömaalta.	s. 36
Kuva 12.	Anturan kappaletavaramuotti ja valmis raudoitus	s. 37
Kuva 13.	Pumppuauto ja betonin siirto kalustoa.	s. 41
Kuva 14.	Seinämuotti ja vastuslangat.	s. 50
Kuva 15.	Kuvaus urakoitsijan laadunvarmistuksen osa-alueista.	s. 59
Taulukko 1.	Suomessa sallittujen sementtien koostumukset.	s. 15
Taulukko 2.	Betonilaadut.	s. 17
Taulukko 3.	Betonirakenteiden rasitusluokat.	s. 18

Taulukko 4.	Betonipeitteen vähimmäisvaatimukset E 1992-1-1	s. 19
Taulukko 5.	Raudoituksen sisäpuoliset minimitaivutussäteet.	s. 35
Taulukko 6.	Taulukko eri betonilaatujen vähimmäis- jälkihoitoajoista.	s. 44
Taulukko 7.	Jälkihoitomenetelmät.	s. 45
Taulukko 8.	Valuolosuhteiden riskit ja toimenpiteet niiden ehkäisemiseksi.	s. 48
Taulukko 9.	Betonirakenteiden valmistusvirheitä.	s. 52

LIITELUETTELO

LIITE 1. Betonointipöytäkirja.

1 JOHDANTO

Paikallavalurakentaminen on rakennusteollisuutemme perusta. Paikallavalurakentaminen on perinteinen ja yksinkertainen rakennustapa, mutta virheet ovat kalliita korjata. Suhdanteiden muuttuessa ja esimerkiksi elementtien hintojen noustessa paikallavalurakenne tulee kilpailukykyiseksi elementtiratkaisuihin verrattuna. Paikallavalurakentaminen on työvoittoista ja huolellisella suunnittelulla ja toteutuksella päästään edulliseen ja laadukkaaseen lopputulokseen. Vaikka kyseessä on perinteinen työmenetelmä, ei ammattitaitoinen valutyö ja laadukas suunnittelu ole itsestäänselvyys.

Toiminnallisen opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä opas WasaCon Oy:lle työmaakäyttöön paikallavalurakenteiden toteuttamisesta. Oppaan tavoitteena on parantaa asenteita ja paikallavalurakentamisen laatua työmaalla sekä kannustaa paikallavalu rakenteen valintaan rakenteiden toteuttamisessa. Oppaan avulla voidaan vähentää betonitöiden jälkipaikkaus litteran kustannuksia ja kasvattaa työn kannattavuutta.

Paikallavaluoppaassa käsitellään paikallavalu rakentamisen toteutusta työohjeiden avulla. Oppaassa perehdytään myös paikallavalurakentamisen ongelmiin ja niiden ratkaisuun eli se toimii työmaamestarin tukena ja tietolähteenä.

WasaCon Oy on vuonna 1996 perustettu Vaasalainen rakennusliike, jonka päätoimialana on liiketila ja teollisuusrakentaminen. WasaCon Oy on osa WasaGroup yhtiötä, jonka muita jäseniä ovat tytäryhtiöt rakennuskonevuokraamo WasaTrade Oy, terästoimittaja WasaSteel Oy ja suunnittelutoimisto WasaPlan Oy.

2 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS JA TAVOITTEET

Opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä opas paikallavalurakentamisesta WasaCon Oy:n käyttöön. Opinnäytetyössä käydään läpi paikallavalurakentamisen perusteet ja erityispiirteet aina työn suunnittelusta viimeistelyyn saakka. Tavoitteena on helpottaa työmaamestarin työtä. Opas toimii työmaamestarin apuna työn suunnittelussa, toteutuksessa ja oppaan tarkoituksena on parantaa paikallavalurakentamisen laatua. Seuraavassa käydään läpi oppaan sisältöä ja tavoitteita.

2.1 Oppaan sisältö ja rajaus

Opas kokoaa yhteen paikallavalurakentamisessa tarvittavan keskeisen tiedon, koska työmaalta ei ole aikaa lähteä etsimään luotettavaa tietoa, eikä internet ole aina luotettava tietolähde. Oppaan tulee käsitellä paikallavalurakentamisen tekniikkaan sisältyvät perusteet ja paikallavalurakentamisen tuotannon suunnittelun lähtökohdat.

Työn rajaamiseksi vain keskeiset, esimerkiksi työn laatuun ja toteutukseen liittyvät asiat käsitellään oppaassa perusteellisesti. Tavoitteena on tehdä opas, joka on tarpeeksi helppokäyttöinen ja selkeä. Liian laajat aiheet pyritään tiivistämään ja antamaan tietolähde, missä aihetta voi tarvittaessa tutkia tarkemmin. Oppaassa ei perehdytä erikoisrakenteisiin kuten parvekkeiden, siltojen tai konepetien valamiseen, vaan siinä käsitellään yleisesti paikallavalurakentamista ja sen erityispiirteitä.

Opas käsittelee paikallavalurakentamista sekä tekniseltä, että tuotannolliselta kannalta. Paikallavalurakentamisen tekniikka osio käsittelee raudoituksen, muottitekniikan, betonoinnin, jälkihoidon sekä viimeistelyn. Tuotannon suunnittelu käy läpi työn kustannukset, aikataulun, tehtäväsuunnittelun, laadunvarmistuksen ja työturvallisuuden.

2.2 Oppaan toteutus

Opas toteutetaan yhdessä WasaCon Oy:n henkilöstön kanssa. Opinnäytetyön raporttiosuus toimii oppaan teoriapohjana. Opas tehdään pdf-muodossa yrityksen serverille työntekijöiden käyttöön ja myös tekstiversiona, jotta työntekijät voivat tehdä siihen myöhemmin lisäyksiä. Oppaaseen voidaan päivittää esimerkiksi uusia työohjeita, jotta jokaisen mestarin ei tarvitse ”keksiä pyörää uudelleen”.

2.3 Oppaan ulkoasu ja kuvat

Oppaan ulkoasu tehdään käyttäen samaa ulkoasua kuin yrityksen muissakin asiapapereissa tai opinnäytetyön mallipohjaa soveltaen. Oppaasta pyritään tekemään kuvien ja piirrosten avulla mielenkiintoinen ja helppokäyttöinen tietolähde. Kuvat oppaaseen on otettu WasaCon Oy:n työmailta Vaasan sähkön parkkihallirakennuksen ja väestönsuojan valusta vuonna 2013.

3 PAIKALLAVALURAKENTAMISEN TEKNIikka

Paikalla valettavien rakenteiden kirjo on laaja. Seuraavassa käydään läpi teoriaa paikallavalurakenteista ja niiden toteutuksesta. Luvussa käsitellään yleisesti betonia materiaalina, rakenteiden muottityötä, teräsbetonin raudoitustyötä sekä paikallavalurakenteen betonointia.

3.1 Betoni materiaalina

Betonin suosio rakennusmateriaalina perustuu sen ominaisuuksiin. Betoni on edullinen, kosteudenkestävä, luja, turvallinen sekä muokattava rakennusmateriaali. Kun rakenteelta vaaditaan kestävyyttä, stabiiliutta, massiivisuutta ja esimerkiksi paloturvallisuutta on rakennusmateriaalina lähes poikkeuksetta betoni. Betoni on työstövaiheessa notkea ja vapaasti muotoiltavaa massaa, joka voidaan muottien avulla valaa haluttuun muotoon. /12/

Betonin ominaisuudet asettavat korkeat vaatimukset sekä suunnittelulle, että työmaatekniikalle. Laadunvarmistus, laaduntarkkailu ja etenkin suunnittelijoiden ja työmaan yhteistyö on tärkeää paikallavalurakenteen toteuttamisessa.

Betoni on luja materiaali, sen kimmokerroin on 16-39GPa ja sen lieriölujuus on 8-65 MPa. Hyvien puristuslujuuksien vastakohtana betonin kyky vastustaa muodonmuutosta vetorasituksessa on heikko. Siksi rakentamisessa käytetään lähes poikkeuksetta raudoitettua betonia. Teräkset vastaanottavat palkkien alapinnan vedon.

Muihin betonin ominaisuuksiin kuuluvat viruma, eli kuorman aiheuttama muodonmuutos ja kuivumiskutistuminen. Nämä ominaisuudet on otettava huomioon sekä suunnittelussa että tuotannossa. Viruma on suurimmillaan kovettumisvaiheessa olevalle betonille, joten työmaalla on muistettava esimerkiksi holvivalussa lisätuet muottien purkamisen jälkeen. Kuivuessaan betonista poistuu vettä ja sen tilavuus pienenee. Siksi betonimassassa on hyvä olla mahdollisimman vähän vettä. Kuivumiskutistumaa lisäävät myös kuiva valuympäristö, joka imee vettä betonista, suuri hienoainesmäärä, kevytsora,

huokostaminen ja eräät notkistimet. Kuivumiskutistuminen aiheuttaa halkeamia, ja siksi se on otettava huomioon suunnittelussa ja toteutuksessa esimerkiksi työsaumoin.

Betonirakenteet suunnitellaan lähes poikkeuksetta tavoitteena viidenkymmenen tai sadan vuoden käyttöikä. Pitkän käyttöiän edellytyksenä on oikeanlaisen betonin valinta käyttökohteeseen ja betonin kyky suojata teräksiä korroosiolta. Betonin emäksisyys suojaa teräksiä kemiallisesti, fysikaalisen suojan antaa riittävä suojabetonipeite, mikä hidastaa ja estää hapen ja kloridien pääsyä teräksiin. /6, 97–98/ Korkeasti alkalinen huokosvesi tekee terästen pinnalle suojaavan kalvon. /7, 222/

Karbonatisoituminen on betonin vanhenemisreaktio, jossa betonin emäksisyys neutraloituu. Ympäristön vaikutuksesta ja ajan kuluessa ilman hiilidioksiditunkeutuu betoniin ja laskee huokosveden alkalisuutta. Huokosvesi muuttuu happamaksi, betonin pH laskee normaalista 12,5 noin 8,5, mikä mahdollistaa terästen korroosion. /7, 222–223/

Terästen korroosio turmelee betonirakenteen toiminnan, esimerkiksi vetoterästen ruostuminen palkin alapinnassa. Korroosion edetessä korroosiotuotteiden suurempi tilantarve halkaisee betonin pinnan, mikä nopeuttaa korroosiota entisestään. Halkeamista valuvat korroosiotuotteet ovat myös esteettinen haitta. Ruosteen valumajäljet eivät lähde edes pesemällä. /7, 220–223/

3.1.1 Betonin raaka-aineet

Betoni koostuu runkoaineesta, sementistä ja vedestä. Lisäksi betoniin voidaan lisätä lisäaineita ja muita aineita, kuten masuunikuonaa, lentotuhkaa, jäänestoaineita ja notkistimia. Näiden materiaalien ominaisuuksia muuttamalla voidaan vaikuttaa esimerkiksi betonin väriin, lujuuteen, kuivumisnopeuteen ja työstettävyyteen. /6, 31/

Betonin osa-aineiden valintaa ja seossuhteen määrittäystä halutun betonilaadun valmistamisessa kutsutaan suhteittamiseksi /6, 31/. Oikein valitulla seossuhteella, työstömenetelmillä ja lujuudenkehityksen jälkeen betoni on vähintään sille asetettujen normien ja lujuusvaatimusten mukainen. Optimaalisen lujuuden kehityksen ja mahdollisimman pienen kuivumiskutistuman kannalta betonin vesimäärän tulisi olla mahdollisimman pieni, mikä taas vaikeuttaa työstöä. Työstettävyyttä ja notkeutta voidaan parantaa kuitenkin lisäaineilla. Tärkeintä massalle on sopiva tiiviys ja notkeus, jotta muotti täyttyy ja raudat ovat täysin betonin ympäröimiä. /3, 101/

Runkoaineena betonissa käytetään yleisimmin luonnonsoran saatavuudesta johtuen murskattua kiviainesta. Kiviaines tulee olla SFS-EN 12620 mukaista, sekä CE-merkittyä. Kiviaineksen laatu, eli lujuus, puhtaus, rakeisuus ja hienoaineksen määrä vaikuttaa betonin lujuuteen ja betonin suhteutukseen. Kiviaines ei saa olla myöskään liian märkää. Mikäli betoni on erottuvaa tai harvaa, syy saattaa olla kiviaineksen raemuodossa. Hyvä raemuoto on pyöreä ja sileä. Mikäli kiviaines on puikkomaista (huonot lujuusominaisuudet), betonista on syytä reklamoida. /6, 31–36/

SFS-EN 197-1 -määritelmän mukaan sementti on hydraulinen sideaine, joka veden kanssa sekoitettaessa sitoutuu seospastaksi, joka hydratoitumisreaktion kautta kovettuu ja pitää lujuutensa. Sementti on kalkkikivestä valmistettava yhdiste, joka koostuu kalsiumkarbonaatista, piidioksidista, rautaoksidista ja alumiinioksidista. Valmistusprosessissa kalsiumoksidi poltetaan $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja syntynyt Portland-klinkkeri jauhetaan. Mineraalien suhdetta muuttamalla ja kipsin, kalkkikiven ja masuunikuonan lisäyksellä vaikutetaan sementin tuleviin lujuusominaisuuksiin. / 6, 39–42 /

Taulukko 1. Suomessa sallittujen sementtien koostumukset. /6, 43/

Sementtilaji	Koostumusvaatimukset [%]					
	klinkkeri	kuona	silika	lentotuhka	kalkkikivi	muut
CEM I	95...100	-	-	-	-	0...5
CEM II/A-S	80...94	6...20	-	-	-	0...5
CEM II/B-S	65...79	21...35	-	-	-	0...5
CEM II/A-D	90...94	-	6...10	-	-	0...5
CEM II/A-V	80...94	-	-	6...20	-	0...5
CEM II/B-V	65...79	-	-	21...35	-	0...5
CEM II/A-LL	80...94	-	-	-	6...20	0...5
CEM II/A-M	80...94	6...20				0...5
CEM II/B-M	65...79	21...35				0...5
CEM III/A	35...64	36...65	-	-	-	0...5
CEM III/B	20...34	66...80	-	-	-	0...5

Veden ominaisuudet vaikuttavat betonin laatuun. Yleisesti juomakelpoinen vesi soveltuu myös betonin valmistamiseen. Humuspitoinen järvivesi tai asumisjätteen saastuttamat vedet eivät yleensä kelpaa betonin valmistamiseen. Järviveden humuspitoisuus ja happamuus saattavat estää betonin kovettumisen. Sokeri on tuoreelle betonille myrkyä. Sokeri veden seassa tai tuoreessa betonissa estää sen kovettumisen tehokkaasti ja vaikutukset voivat olla kohtalokkaat. Myös veden suolaisuus eli kloridipitoisuus on haitaksi valmiille lopputuotteelle ja se aiheuttaa mm. terästen korroosiota. Merivettä ei saa käyttää betonin valmistamiseen tai jälkihoitoon. Veden suurin sallittu kloridipitoisuus CL^- on enintään 0,03 painoprosenttia. /6, 62/

Betonimassan ominaisuuksia pystytään säätämään fysikaalisilla tai kemiallisilla lisäaineilla. Betonin työstöominaisuuksia parannetaan notkistimilla ja nesteyttimillä. Valmiin betonirakenteen pakkasenkestävyyttä parannetaan huokostimilla. Huokostettua eli pakkasenkestävää betonia voidaan käyttää mm. autokatosten lattioiden valamiseen. Betonimassan työstönaikainen jäätyminen estetään kemiallisilla lisäaineilla. Kiihdyttimet nopeuttavat lujoudenkehitystä, kun taas erityisesti kesällä hidastimilla saadaan lisäaikaa betonoinnille. Tiivistysaineita

käytetään esimerkiksi itsestään tiivistyvässä erikoisbetonissa. Injektointiaineilla voidaan korjata betonirakenteiden vaurioita. /6, 63–63/

3.1.2 Betonilaadut ja rasitusluokat

Betonilaatuja on lukuisia betonin ominaisuuksista johtuen. Betonin laatu on valittava käyttökohteen vaatimusten mukaisesti, jotta valmis lopputuote vastaa sille asetettuja vaatimuksia. Vaatimuksia voivat olla esimerkiksi lujuus, säänkesto, pakkasenkesto, altistuminen klorideille, betonointimenetelmä, sää tai rakenteen erityispiirteet.

Betonimassan koostumus tulee olla sellainen, että se soveltuu käytettävään muottimenetelmään, eli se voidaan tiivistää täyttämään muotti täydellisesti, massa pysyy koossa ja siitä voidaan liipata sileä pinta. Työmaalla paikallavalurakenteen toteuttamisessa ei tule ajatella vain betonin hintaa betonilaatua valittaessa. Väärä betonilaatu voi aiheuttaa ongelmia työstössä tai lopputuloksessa. /15/

Rakennesuunnittelija määrittelee betonin minimilujuuden ja suojabetonipeitteen rasitusluokan ja suunnitellun käyttöiän perusteella. Lähtökohtana betonin valinnalle on rakennesuunnittelijan määrittämät ominaisuudet mitä valmiilta rakenteelta ja kovettuneelta betonilta vaaditaan /17/. Seuraavana on esitelty muutamia yleisimpiä betonilatuja ja käyttökohteita.

Taulukko 2. Eri betonilaadut. /14/

Laatu	Rakenne	Lujuusluokka	Suurin raekoko	Notkeus
Normaali rakennebetoni	Perustukset ja rungot	Perustukset K30(C25/30)	16mm, 32mm	Notkea (S2)
Nopeasti kovettuva rakennebetoni	Runkorakenteet			
Lattiabetoni	Lattiat	K25, (C20/25)	16mm	Vetelä (S3), Notkea (S2)
Nopeasti päällystettävä betoni, NP	Lattiat			
Säänkestävä betoni/ huokostettu betoni	Pakkasenkestävät rakenteet, ulkotasanteet, ajoluiskat, autokatokset.			
Saumabetoni	Elementit, valuharkot!			Notkea (S2)
Kuitubetoni	Lattiat, teräs tai muovikuidut, vähentää kutistumaa ja halkeilua.			
Korkealujuusbetoni	Erikoisrakenteet			
Pakkasbetoni	Jälkivaluun talvella, saumat, juotokset.			
Kuumabetoni	Talvibetonointiin			
Vesitiiviit betonit	Altaat, vesitiiviit rakenteet.			
Itsetiivistyvät betonit	Runsaasti raudoitettut tai ahtaat rakenteet, joskus myös laatastot.			
HT-lattiabetonit	Maanvaraiset laatat, lattiat, alapohjat.			
Väribetonit	Julkisivut, erityiset yksityiskohdat.			
Säänkestävät betonit!	Ulkorakenteet	K37(C30/37)	8, 12, 16, 32mm	Notkea S2
	Autotallin laatta	K45(C35/45)	16mm	Notkea (S2)
	Seinät ja pilarit	Yleensä K25(C20/25)	16mm	Notkea (S2)

Betonin rasitusluokka on riippuvainen rakenteen tulevasta käyttöolosuhteesta, eli onko se esimerkiksi säältä suojassa tai altistuuko se klorideille. Tarkista aina rakenteen rasitusluokka betonia tilatessa ja varmista myös piirustuksissa esitetty betonin rasitusluokka, myös suunnittelijat voivat tehdä virheitä. Suunnitelmien muuttuminen voi vaikuttaa rasitusluokkaan. Liian tiukka rasitusluokka lisää kustannuksia, vaikeuttaa betonointia ja voi aiheuttaa laatuongelmia. Esimerkiksi liian suuret vaatimukset vesisementtisuhteelle tai suuri raekoko hankaloittavat betonin siirtoa, betonointia ja tiivistymistä. Toisaalta liian vaatimaton rasitusluokka saattaa myös heikentää rakenteen kestävyyttä. /15/

Taulukko 3. Betonirakenteiden rasitusluokat. /16/

Luokka	Kuvaus
Ei korrosiovaaraa tai rasituksia	
X0	Raudoittamaton betoni, kun ei ole merkittävää jäädytys-sulatusrasitusta, kulutusrasitusta tai kemiallista rasitusta Raudoitettu betoni hyvin kuivissa olosuhteissa
Karbonatisoitumisen aiheuttama korrosio	
XC1	Kuiva tai pysyvästi märkä
XC2	Märkä, harvoin kuiva
XC3	Kohtalaisen kostea
XC4	Märkä ja kuiva vaihtelevat
Muun kuin meriveden kloridien aiheuttama korrosio	
XD1	Kohtalaisen kostea
XD2	Märkä, harvoin kuiva
XD3	Märkä ja kuiva vaihtelevat
Meriveden kloridien aiheuttama korrosio	
XS1	Kosketuksessa ilman kuljettaman suolan kanssa, mutta ei suorassa kosketuksessa meriveteen
XS2	Pysyvästi veden alla
XS3	Vuoroveden ja roiskeen vyöhykkeellä
Jäädytys-sulatusrasitus jäänsulatusaineilla tai ilman niitä	
XF1	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita
XF2	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet
XF3	Suuri vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita
XF4	Suuri vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet tai merivesi
Kemiallinen rasitus (XA-luokat)	

Rasitusluokkia on 18, jotka voidaan jakaa viiteen ryhmään. Ensimmäinen luokka on kuivien ja lämpimien sisätilojen raudoittamattomat rakenteet, X0. Ympäristö ei aseta tämän luokan rakenteille vaatimuksia. XC1-4 -luokan betonirakenteet antavat teräksille suojan, joka perustuu betonin emäksisyyteen ja

suojabetonipeitteeseen ja ympäristön rasitus on lähinnä karbonatisoitumisen aiheuttamaa.

XD1-3 ja XS1-3 -rasitusluokan betonit kestävät myös kloridien aiheuttaman korroosion ja niitä käytetään yleensä merivedelle tai suolalle altistuvissa rakenteissa. Käytetään uimahalleissa, meluseinissä, pysäköintitasoissa, laitureissa ja siltarakenteissa. XF -rasitusluokka kattaa jäätymis-sulamisrasitukselle altistuvat rakenteet esimerkiksi tasanteet, julkisivut, kansilaatat, parvekkeet ja pysäköintitasanteet. XA-luokkaa käytetään kemiallisessa rasituksessa esimerkiksi savupiiput, kuivaamot ja maatalousrakenteet. /15/

Rasitusluokan tai betonin käyttöiän muuttuessa myös rakenteen suojabetonipeitteen paksuus muuttuu luokan mukaan. Seuraavassa on esitetty suojabetonipeitteen vähimmäismitat taulukossa 50-vuoden käyttöiälle suunnitelluille rakenteille.

Taulukko 4. Betonipeitteen vähimmäisarvovaatimukset EN 1992-1-1 kansallisen liitteen mukaisesti, kun käyttöikä on 50.vuotta. /16/

Kriteeri	Ympäristöolosuhteista johtuva betonipeitteen vähimmäisarvovaatimus $c_{min,dur}$ (mm)							
	Rasitusluokka eurokoodin EN 1992-1-1 taulukon 4.1 mukaan							
	X0	XC1	XC2 XC3	XC4	XD1	XS1	XD2	XD3 XS2,3
Betoniteräs	10	10	20	25	30	30	35	40
Jänneteräs	10	20	30	35	40	40	45	50
100 vuoden suunniteltu käyttöikä ¹⁾	+0	+0	+5	+5	+5	+5	+5	+5
Minimilujuusluokka ²⁾	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C35/45
Valittu lujuusluokka \geq	C20/25	C30/37	C35/45	C35/45	C35/45	C40/50	C35/45	C45/55
	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
RakMK B4 1-rakenneluokka	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5

1) Jos rakenteen suunniteltu käyttöikä on 100 vuotta, on myös muut säilyvyysvaatimukset tarkistettava RakMK B4 (SFS-EN 206-1 kansallinen liite) mukaisesti.

2) Minimilujuusluokat on määritetty soveltaen SFS-EN206-1 kansallista liitettä

3.1.3 Lujuudenkehitys

Betonin lujuudenkehitys on työmaata rajoittava tekijä sekä aikataulullisesti, että turvallisuuden kannalta. Lujuudenkehitys kulkee käsi kädessä lämpötilan kanssa

ja siksi erityisesti talviolosuhteet asettavat vaatimuksia paikallavalurakentamiselle. Paikallavalurakenteiden valussa tarvittavat massiiviset muottirakenteet ovat usein tiellä ja hidastavat työmaan kulkua. Työmaalla kuuleekin usein kysyttävän, ”koska muotit voi purkaa?”

Työmaan kannalta lujuudenkehityksen tavoitteita ovat:

- Jäätymislujuus kaikilla betonilujuuksilla on 5MN/m^2 , jolloin kuormittamattomat muotin osat (seinämuotit, sivut jne.) voidaan purkaa. Tällöin rakenne kestää yhden jäätymisen vaurioitumatta eli lämmitys voidaan keskeyttää, jos työn kulku sitä vaatii.
- Muottien purkamislujuus $\geq 0,6 K$, eli lujuuden on oltava sama tai suurempi kuin 60% betonin nimellislujuudesta ellei piirustuksissa ole mainittu muuta.
- Nimellislujuus. Rakenne on saavuttanut vaaditun lujuutensa. Keskeytykset lämmityksessä siirtävät nimellislujuuden saavuttamista. /6, 348–349/

Lujuudenkehitys on riippuvainen lämpötilasta. Lämpötilan laskiessa negatiiviseksi lujuudenkehitys hidastuu voimakkaasti ja lopulta pysähtyy -10 ja $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ välillä. Mikäli betoni jäätyy heti valun jälkeen, sen lopullisesta lujuudesta menetetään 20 %. Rakenne sulaa myöhemmin ja rakenne voi sortua. / 6, 346–347/

Betonin lujuuden kehityksen laskemiseksi on mitattava säännöllisesti valun lämpötila betonoinnin jälkeen. Lujuuden voi laskea kaavalla:

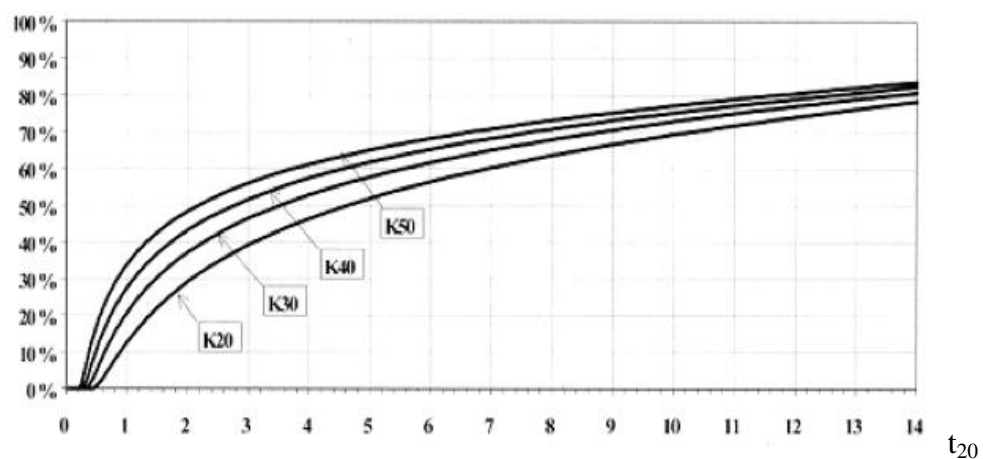
$$t_{20} = \left(\frac{T + 16C^0}{36C^0} \right)^2 \times t$$

T on betonin lämpötila aikana t Celsius asteina.

t on kovettumisaika vuorokausina.

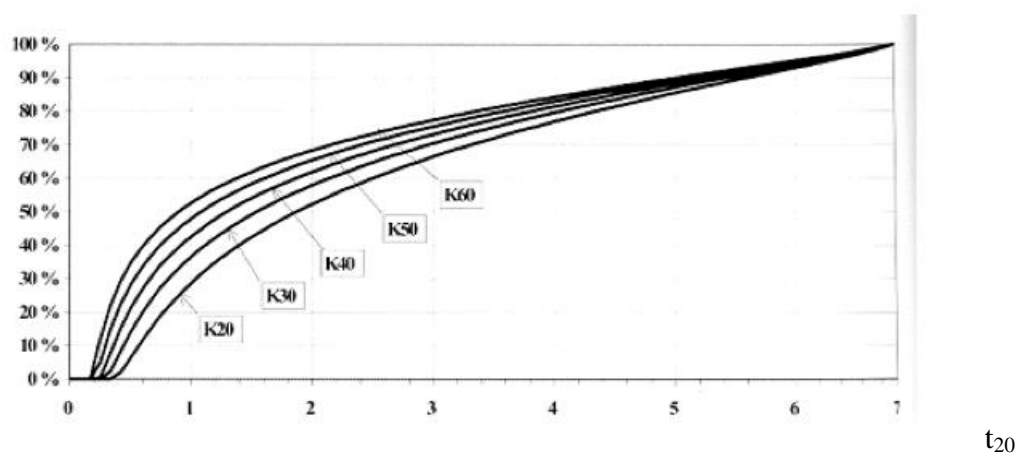
Mikäli lämpötila on pysynyt koko ajan vakiona, voidaan t_{20} kypsyysikä laskea suoraan kaavalla. Jos lämpötilassa on vaihteluita, se määritetään samana pysyneiden lämpötila ajanjaksojen summana. /6, 352/

Tavallinen Betoni



Kuva 1. Betonin lujuudenkehitys kypsyysiän t_{20} funktiona. /2,124/

Rapid



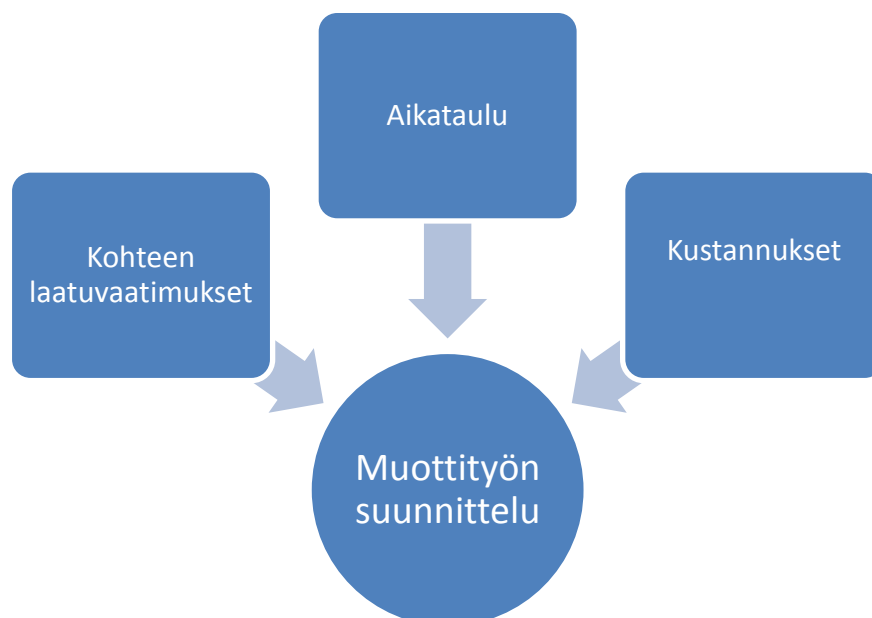
Kuva 2. Rapid sementistä valmistetun betonin lujuudenkehitys kypsyysiän t_{20} funktiona. /3, 124/

3.2 Muottityöt

Muotti on olennainen osa paikallavalurakenteen toteutusta, valmis valurakenne on muottinsa peilikuva. Rakenteeseen soveltumattoman muottijärjestelmän valinta voi hidastaa työnkulkua, lisätä kustannuksia tai vaarantaa työturvallisuuden. Virheet muottityössä kostahtuvat muottien purkamisen jälkeen hankalina jälkitöinä. Betonin jyrsintä, piikkaus ja tasoittaminen tai esimerkiksi kieroon menneen seinän oikaisu ovat aikaan vievää ja kallista. Huolellinen muottityön suunnittelu ja toteutus säästävät aikaa ja rahaa.

3.2.1 Muottityön suunnittelu ja muottijärjestelmän valinta

Muottityön suunnittelu tehdään ennen työhön ryhtymistä. Muottityön suunnittelu sekoitetaan helposti muottisuunnitelmaan. **Muottisuunnitelma** on muottien käytön ja tuennan suunnitelma, joka on yleensä muottitoimittajan rakennekuvien perusteella tekemä suunnitelma muottien tukemisesta ja rakenteista. **Muottityön suunnittelun** tavoitteena sen sijaan on paikallavalurakenteen toteuttaminen laadukkaasti, kustannustehokkaasti, turvallisesti ja pysyen aikataulussa.



Kuva 3. Muottityön suunnittelun tekijät.

Muottityön suunnittelun lähtökohtana ovat työmaahan varatut resurssit, kuten tavoitearvio, kone- ja kalustoluettelo ja työmaan aikataulu. Aikataulun asettamat vaatimukset määrittävät muottityön nopeuden ja tarvittavan kalustomäärän. Muottijärjestelmä valitaan työmaan lähtötietojen perusteella, muottitarpeen ja kustannusten mukaan. Muottijärjestelmän perusteella suunnitellaan muottien käyttö.

Muottityön suunnittelu aloitetaan työmaan lähtötietojen selvittämällä. Suunnitelmista etsitään tiedot mm. laatuvaatimuksista, paikallavalumääristä, aikataulusta ja tekojärjestyksestä, työsaumoista ja mahdollisista vaihtoehtoisista tekotavoista. Talvialussa muottien lämmitys ja suojaus vaikuttaa työnsuunnitteluun ja muottijärjestelmän valintaan. /6,235/

Välimatkat, käytettävät resurssit, työntekijät ja ajankohta täytyy ottaa myös huomioon. Esimerkiksi seinien talvivaluun kasettimuoteilla on syytä ottaa kokenut työryhmä, kesällä kappaletavaramuoteilla tehtävät anturat onnistuvat aloittelijoiltakin. Jos muottien purussa tarvitaan nosturia tai kurottajaa, kannattaa samalle päivälle suunnitella myös muita siirtoja.

Suurimmat muottikalustotoimittajat sijaitsevat lähes poikkeuksetta etelä-suomessa. Pitkien välimatkojen vuoksi kuljetuskustannukset muodostuvat usein merkittäviksi. Tämän vuoksi kannattaa hyödyntää yhteisiä muottikuljetuksia tai tilauksia muiden työmaiden ja yhteistyökumppaneiden kanssa. Tarkista siis olisiko omilla työmailla tai muottitoimittajalla vapautumassa muotteja lähialueelta.

Muottitarve määritellään runkoaikataulun ja välitavoitteiden perusteella. Näistä laskemalla saadaan päivittäinen muottityön tarve. Piirustuksista lasketaan valettavien rakenteiden määrä ja näistä voidaan laskea päivittäinen muottityön määrä. Muottitarvetta määriteltäessä selvitetään ja suunnitellaan alustavasti muottien kiertoaika toteutusajankohdan, työryhmän ammattitaidon, raudoitusten ja varausten, betonoinnin, betonin kovettumisen, muottien purun, siirron ja puhdistuksen vaatiman ajan perusteella. /6,236/

Muottikalusto valitaan kustannusvertailun perusteella edullisin vaihtoehto, joka täyttää tukirakenteiden ja muottipinnan vaatimukset. Kustannusvertailusta haastavaa tekevät muottien eroavaisuudet mm. mitoissa, kantavuudessa, työmäärässä, varaosissa ja kunnossapidossa. Vuokrasisältö ei ole välttämättä kaikilla valmistajilla sama, joten vertailu vaatii erityistä tarkkuutta. Yleensä työmaamestarit valitsevat järjestelmän, jota on totuttu käyttämään.

Muottijärjestelmän valinnan jälkeen tehdään muottisuunnitelma. Muottien tuentasuunnitelma tulee muottitoimittajalta, mutta työmaalla on suunniteltava muottityön eteneminen ja optimoida työkierto. Muottityön suunnittelussa on otettava huomioon muottien varastointi, nosto- ja siirto, asennusjärjestys, lämmitys ja suojausmenetelmät ja jälkituentakaluston käyttö. Ennen muottityön aloitusta on selvítettävä myös työryhmän ammattitaito ja opastuksen tarve.

3.2.2 Muottikierto



Kuva 4. Muottikierron työvaiheet.

Muottikierto sisältää työvaiheet betonirakenteen valmistumiseksi. Muottikierto koostuu muotin paikan mittauksesta, esivalmistelusta, pystytyksestä, paikalleen nostamisesta, raudoituksesta, varauksien asennuksesta (sähköt, läpiviennit jne.), betonoinnista, kovettumisesta, irrotuksesta. Lopuksi muotti irrotetaan, puretaan ja puhdistetaan ja se on valmis seuraavaan kiertoon. /6, 238/

Muottikiertoa suunniteltaessa on selvitettävä seuraavat asiat:

- Betonointi kokonaisuudet ja kertavaluosat, mitä valetaan kerralla?
- Työvaiheiden väliset riippuvuudet.
- Tarvittava kaluston ja muottityön määrä, pystyrakenteiden optimaalinen muottimäärä yleensä puolitoista kertainen, vaakarakenteilla kolminkertainen valualueeseen nähden.
- Tarvittava aika- ja työmenekki.
- Työryhmät.
- Muottityön aikataulu.

3.2.3 Työsaumat

Betonoitavat rakenteet joudutaan usein valamaan osissa ja jakamaan useampiin kertavalualueisiin. Alueisiin jako tehdään yleensä joko työmaateknisistä syistä tai rakenteen toiminnan vuoksi. Valualueet rajoittuvat usein ”luonnollisiin” valualueisiin, kuten liikuntasaumoihin ja nurkkiin tai lattiavaluissa työryhmän päiväsaavutuksen mukaan. Työsauman tulee olla aina kohtisuora betonin puristuslujuutta vastaan. Valualueiden välille on jätettävä työsauma aina, mikäli betonointi keskeytyy ja betonin kovettuminen on ehtinyt alkaa ennen työn jatkamista. /6, 240/

Työsauma voidaan toteuttaa pestynä, karheana tai sileänä työsaumana. Pestyssä työsaumassa sauman pinnasta poistetaan pesemällä betonilaasti 2-5mm syvyydeltä muotin purun jälkeen. Karhennettu työsauma voidaan toteuttaa harjaamalla vaakasauma karheaksi paljastaen runkoaines 2-5mm syvyydeltä. Pystysaumaa jatkettaessa käytetään erityistä työsaumaverkkoa. Työsauman pesu

tai harjaus on tehtävä oikeaan aikaan, jotta betoni kestää muotin poiston ja sementtiliima kuitenkin irtoaa. /3, 126-127/

Yleensä työsauma voidaan muotittaa levymuotilla tai työsaumaverkolla, mikäli ympäristöolosuhteet valmiille rakenteelle eivät ole vaativa. Jos työsauman tulee olla tiivis, on se toteutettava pestynä saumana. Jos sauma on kuitenkin tehtävä levymuottia käyttäen, voidaan levymuottiin sivellä työsauman kohdalle pintahidastus ainetta. Hidastimen ansiosta betonin pintaliima on mahdollista poistaa harjaamalla tai pesemällä muottien purun jälkeen. /3, 126–127/

Työsaumat on aina tehtävä rakennesuunnitelmien mukaisesti, sillä työsauma saattaa vaikuttaa rakenteen toimintaan. Mikäli suunnitelmissa ei ole esitetty työsaumojä, on ne suunniteltava yhdessä rakennesuunnittelijan kanssa. Mikäli työsauma on tehtävä yllättävään paikkaan, esimerkiksi muottien pettämisen tai työtapaturman vuoksi voidaan työsauma tehdä karheana ilman erillissuunnitelmaa. /3, 127/

Työsauman toteutuksessa on kiinnitettävä huomiota sauman ja raudoitteiden puhtauteen. Lika, lumi ja sahanpurut on poistettava saumasta samoin kuin ruoste ja betoniroiskeet tartunnoista. Betonointia jatkettaessa pystysaumasta reunarajoitin poistetaan, sauma puhdistetaan ja raudoitteiden kunto tarkastetaan. Sauma on kasteltava, ja tarvittaessa käsiteltävä tartuntaa parantavalla liuoksella ennen valun jatkamista. Työsaumassa voidaan myös käyttää normaalia lujempaa betonia, kuitenkin täytyy muistaa käyttää sitä sauman molemmissa puolissa. Valua jatkettaessa betoni on tiivistettävä erityisen hyvin tartunnan varmistamiseksi. /2, 165–167/

Vaakasaumaa jatkettaessa toimitaan samoin kuin pystysauman kohdalla. Pinnat puhdistetaan, kovettunut betoniliima poistetaan ja sauma pidetään kosteana tai käytetään tartuntaa parantavaa ainetta. Pysty ja vaakasauman liitoksessa voidaan käyttää tavallista hienojakoisempaa runkoainetta tartunnan varmistamiseksi. Seinää jatkettaessa vaakasaumaan voidaan laittaa rima. Riman jättämä ura

voidaan tasoittaa jälkityönä, mikä helpottaa esim. purseiden tai epäjatkuvuuden peittämistä. /2, 166-167/

3.2.4 Muottien tarkastus

Muottien tarkastus on osa betonityön laadunvalvontaa. Tarkastukset tulee kirjata osaksi betonointipöytäkirjaa, samoin kuin raudoitusten tarkastukset. Muottien tarkastuksessa täytetään oma tukitelineen tarkastuskortti. Muottien tulee olla tiiviit, piirustusten mukaan tehdyt, oikeilla paikoilla, puhtaat, kastellut ja öljytyt. Työ ja suojatelineille tehdään myös käyttöönottotarkastus. Työskentelytasojen tulee olla puhtaat, tukevat, turvalliset ja määräystenmukaiset. Lopuksi tarkastetaan vielä raudoitustarkastuksen yhteydessä, että tarvittavat varaukset, läpiviennit, LVIS-putkitukset ja työsaumat ovat oikeilla paikoilla. /6, 239/

3.2.5 Muottijärjestelmät ja muottien tukirakenteet

Muottijärjestelmät voidaan jakaa valmiisiin muotteihin tai työmaalla kappaletavarasta tehtyihin muotteihin. Muottijärjestelmät voidaan jakaa myös rakenteen perusteella pysty- ja vaakarakenteiden muotteihin sekä erityismuotteihin. Seuraavassa on eritelty muutamia muottijärjestelmiä.

Lauta- ja levymuottijärjestelmät eli kappaletavamuotit tehdään paikalla irtopuutavarasta. Materiaalina käytetään yleensä lautta 22 x 100mm ja lankkua 50 x 100mm. Muottilevynä käytetään vaneria, haluttavasta pinnasta riippuen koivuvaneria tai filmivaneria. Muotit jäykistetään metallisilla kiristysvanteilla ja muotin läpi menevillä siteillä. Palkit tehdään yleensä kappaletavamuoteilla. /6,215/



Kuva 5. Pilarianturamuotti kappaletavarasta.

Kappaletavaramuotit ovat muunneltavia ja niillä voidaan tehdä lähes minkä tahansa rakenteen muotit, mikäli saatavilla on ammattitaitoisia kirvesmiehiä. Muottityypin ongelmana on rikkoutumisesta johtuva suuri materiaalihävikki. Holveja valettaessa on muistettava muottivanerin olevan kertakäyttöistä, eli samaa levyä ei saa käyttää useaan kertaan. Kappaletavaramuotti on oivallinen materiaali yksinkertaisiin ja pieniin rakenteisiin, jossa ei ole toistoa. Järjestelmä on hyvä myös erikoisrakenteille. Kappaletavaramuotteja käytettäessä muotit ja muottien tuenta on suunniteltava tapauskohtaisesti, jotta varmistutaan muottien kestävydestä. Suunnitelmat on hyvä tarkastuttaa rakennesuunnittelijalla.

Suurmuotit soveltuvat pystyrakenteiden valamiseen selkeissä ja paljon toistuvissa rakenteissa, esimerkiksi kerrostalokohteissa. Suurmuotti on kahdesta seinän korkuisesta muotista koostuva yhdistelmä, joka sisältää tukijalat, työtason ja usein eristuksen ja lämmitysvastukset. Suurmuotit siirretään paikoilleen nosturilla, kohde raudoitetaan ja muotin vastapuolet yhdistetään sidepulteilla muotin ylä- ja alaosaan. /6,216/

Suurmuotit sopivat lämmitysjärjestelmän vuoksi hyvin talvivaluun. Työvoiman tarve on vähäinen, käyttö nopeaa ja helppoa. Suurmuotin käyttö muottijärjestelmänä on suositeltavaa, jos kohteessa on toistuvia samankaltaisia rakenteita.

Kasettimuottijärjestelmään kuuluvat kevyet kasettimuotit, järjestelmämuotit ja sidejärjestelmämuotit. Kasettimuotteja käytetään pääsääntöisesti seinien, pilarien ja holvien valamiseen. Kasettimuotit ovat muunneltavia joustavan mitoituksensa ansiosta. Kasetit ovat mitoitukseltaan 3M-kerrannaista ja ne kootaan vakiokiinnikkeillä toisiinsa halutunkokoisiksi muoteiksi. Kasetit koostuvat puu- alumiini- tai teräsrunkoon liitetystä alumiini- tai vanerimuottipinnoista. Järjestelmään kuuluvat suorien levymuottien lisäksi nurkka- ulkokulma- ja sisäkulmamuotit, kiinnikkeet siteet ja liitoskappaleet. Kasettimuottien tukemiseen käytetään valmiita vinotukia ja jäykisteitä./6,217/



Kuva 6. Peri-seinämuottijärjestelmä. WasaCon Oy Vaasan sähkön parkkihalli.

Kasettimuotteja voi lisäksi yhdistää puu- ja kappaletavaramuotteihin, mikäli mittajako ei mene tasan. Muunneltavuutensa vuoksi kasettimuottijärjestelmä on todella käyttökelpoinen, jos työmaalla on useita erilaisia rakenteita. Kasettimuottien ongelmana on jäykkyys, muotit vaativat lähes aina lisäjäykisteitä tai oikaisua. Kevyet kasettimuotit ovat siirreltävissä ilman nosturia. Kasettien

liittäminen ja muottien kokoaminen on työvoittoista ja suurilla alueilla työ on hieman hitaampaa kuin suurmuoteilla.

Järjestelmämuotit koostuvat tarvittavista kaseteista, korokkeista ja jäykisteistä. Järjestelmämuotti on muokattava ja monipuolinen muottityömenetelmä. Järjestelmämuotin käyttö kuitenkin vaatii huolellista suunnittelua ja osien esikokoaminen vie työaikaa. Järjestelmämuotin etuna on kuitenkin sen monipuolisuus. Samalla järjestelmällä ja kalustolla voidaan toteuttaa työmaan kaikki pystyrakenteet väestönsuojista hormoneihin. Muotteja voidaan käyttää monimuotoisissa tai suorissa rakenteissa ja myös kaarevat seinät onnistuvat.

Pöytämuotit ovat koneellisesti toimivia ja siirrettäviä holvimuotteja. Pöytämuotti koostuu tukijaloista, jotka voivat olla taittuvia sekä koolauksesta ja muottipinnasta. Pöytämuotin työvoiman tarve on pieni ja asennus on nopeaa, joten se soveltuu nopeaan muottikiertoon. Hankaluutena pöytämuotissa on muotin siirto purkuvaiheessa. Muotille on varattava poistoaukko esim. suuri ikkuna tai vastaava, jotta se voidaan nostaa pois holvilta. /6,233/



Kuva 7. Doka-holvimuottijärjestelmä. WasaCon Oy:n työmaa Vaasan sähkön parkkihalli.

Kannatinpalkkijärjestelmä ja vakiopalkit- ja muottilevytjärjestelmä on nopea tapa holvien valuun. Joko teräksiset tai alumiiniset säädettävät tukijalat kannattavat

kannatinpalkkeja. Rakenteesta riippuen käytetään pääkannattajia ja sivukannattajia tai poikittaispalkkeja. Palkiston päälle rakennetaan joko valmiista muottilevyistä tai vanerista muottipinta./6,226/



Kuva 9. Doka-holvimuottijärjestelmä. WasaCon Oy, Vaasan sähkön parkkihalli.

Muottijärjestelmä on monipuolinen ja muokattava, mutta toisaalta työvoimavaltainen. Järjestelmän etuihin kuulusäädettävyys ja osien hyvä kuljetettavuus, muotit on helppo purkaa ja kuljettaa pois esimerkiksi kellarista tavallisia kulkureittejä pitkin.

Erityismuotteja ovat mm. liukuvalumuotti, kiipeävämuotti, kuorilaatta, liittolaatta, muovimuottielementti, muovikelmumuotti. Liukuvalumuotteja käytetään jatkuvissa valuissa, kuten vesitornien tai vastaavien valuissa. Muotti liikkuu nostolaitteen avulla rakennetta ylöspäin valun edetessä. Kiipeävät muotit ovat käyttökelpoisia vaikka valu ei olisi jatkuvaa. Kuorilaatat ja liittolaatat ovat elementtirakenteita, jotka toimivat muottina. Kuorilaatta on betoninen laattaelementti ja liittolaatta teräspoimulevy. Molempia käytetään holvivaluissa ja ne muodostavat rakenteelle raudoituksen. Asennuksen jälkeen tehdään haluttu pintavalu ja rakenne muodostavat yhdessä kantavan ja toimivan rakenteen. /6,229/

Muovimuotit voivat olla muovisia tai styrox -muotteja esimerkiksi anturoiden tai seinien valuun. Muotti toimii valuharkon tavoin, muottiin lisätään raudoitus, väliaikainen tuenta ja lopuksi muotti valetaan täyteen. Mm. Soklex Oy valmistaa

EPS-muovista valmismuotteja. Muovikelmumuottia käytetään pientalojen anturoiden valamiseen. Valmiiseen raudoitteeseen on kiinnitetty muovimuotiksi. /6, 229/ Esimerkkejä muovikelmumuotista ovat Lammi-tassu ja Formex valmismuotti.



Kuva9. Formex valmismuotti.

3.3 Raudoitustyön kulku

Raudoitustyö sisältää useita työvaiheita ja raudoitustyön oikeaoppinen ja tehokas toteutus, tarkastus ja ajoittaminen ovat tärkeitä laadukkaan lopputuloksen kannalta. Raudoitustyön huolellinen suunnittelu, toteutus valvonta ja tarkastus ennen betonointia vähentävät kalliita virheitä ja betoni pintojen jälkipaikkausta. Väärin toteutettu raudoitus ja esimerkiksi harjaterästen vaihtaminen siirtävät betonointia ja lisäävät kustannuksia. Virheet raudoituksessa vaikuttavat rakenteen toimintaan ja niillä saattaa olla kohtalokkaita seurauksia. /18/



Kuva 12. Esimerkkikaavio raudoitustyön kulusta.

3.3.1 Hankinta ja varastointi

Raudoitustyön valmistelu alkaa suunnitelmien mukaisten raudoitteiden ja sidonta lankojen hankinnalla. Hankintaa varten työmaamestari laskee rautamäärät piirustuksista itse tai raudoiteluettelon mukaan. Yrityksen hankintatoimi kilpailuttaa ja ottaa tarjoukset tarvituista teräslaaduista. Yleensä harjateräksiä hankitaan varastoon useamman työmaan tarpeiksi yleisen markkinatilanteen mukaan. Kohteesta riippuen voidaan myös harkita valmiiden raudoitteiden käyttöä. Raudan hinta muuttuu voimakkaasti markkinatilanteen mukaan, joten harjateräksiä pyritään pitämään varastossa tarpeeksi. Erityiset työsaumaradoitteet, välikkeet, vastakierrehylsyt ja peruspultit hankitaan tarpeen tullen. /18 /

Kuljetuksen, siirtojen ja varastoinnin aikana raudoitusteräksiin ja raudoitteisiin ei saa syntyä pysyviä muodonmuutoksia. Varastoinnin aikana ne eivät saa joutua

tekemisiin syövyttävien aineiden kanssa tai alttiiksi korroosiolle. Ruosteisuus vaikuttaa heikentävästi raudoitteen lujuus- ja tartuntaominaisuuksiin. Raudoitteet saavat olla korkeintaan kevyessä pintaruosteessa, eikä pinta saa olla esimerkiksi syöpynyt./3, 113/

Harjateräkset ostetaan 12 000 mm mittaisissa saloissa ja kuormat puretaan palkkinosturilla suoraan varastoon. Harjateräsniput painavat noin 3000kg / kpl ja ne kiinnitetään palkkinosturiin vähintään kahdesta kiinnityspisteestä muodonmuutosten estämiseksi. Harjateräsniput täytyy varastoida järjestyksessä tankokoon ja laadun mukaan, jotta nippuja ei tarvitse vetää nosturilla irti toisistaan. Työmaalla harjateräsnipuille tai raudoitteille varataan oma paikkansa ja tarvittaessa ne suojataan.

3.3.2 Raudoitteiden valmistus ja siirto

Raudoitus on yksi raskaimmista työvaiheista rakennustyömaalla. Epämukavat työasennot ja raskaat nostot on hyvä minimoida. /6, 285/ Raudoittaja valmistaa raudoitteet aina ennalta raudoittamossa, jossa on tarvittavat nosturit ja taivutuslaitteet. Rautojen taivutusta ja työstöä työmaalla vältetään, mm korroosion ja työturvallisuusriskien minimoimiseksi. Myös sään vaikutus työolosuhteisiin vähenee työskenneltäessä raudoittamossa. /17/

Harjateräkset katkaistaan aina siihen tarkoitettulla laitteella. Katkaisulaite pystyy katkaisemaan kerralla useita tankoja, mikä nopeuttaa työtä ja vähentää työturvallisuusriskiä kulmahiomakoneen käyttöön verrattuna /18/. Pysyvien muodonmuutosten välttämiseksi raudoitteet on aina taivutettava vähintään tankojen minimitaivutussäteiden mukaisesti:

Taulukko 5. Raudoitteiden sisäpuoliset minimitaivutussäteet. /3, 114/

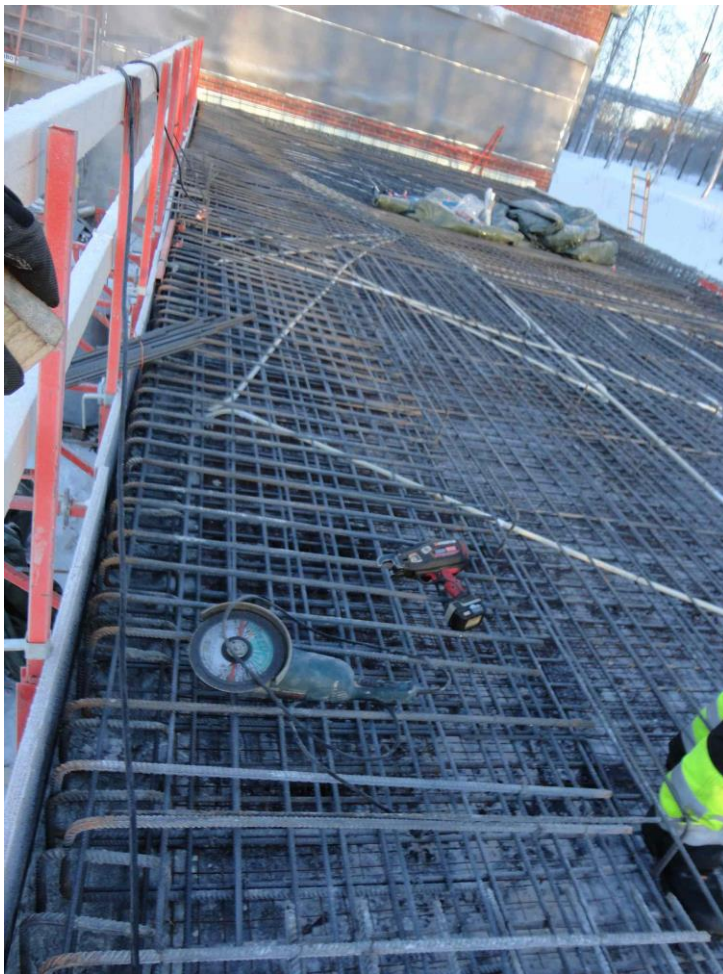
Teräslaatu	Haat, koukut ja lenkit	Pääraudoitus
A500HW	2,0Ø kun $\emptyset \leq 10$ 2,5Ø kun $10 < \emptyset \leq 20$ 3,5Ø kun $\emptyset > 20$	12Ø
A700HW	2Ø kun $\emptyset \leq 10$ 2,5Ø kun $10 < \emptyset \leq 20$	17Ø
B500K	3,0Ø kun $\emptyset \leq 12$	12Ø
B700K	4,5Ø kun $\emptyset \leq 12$	17Ø
B600KX	3,0Ø kun $\emptyset \leq 12$	15Ø

Tankojen ankkuroinnissa ja jatkoksissa on muistettava erityinen huolellisuus. Rauditus on toteutettava niin, että valmiilla raudituksella on liittävä tartuntakapasiteetti. Mikäli jatkoksia joudutaan kuitenkin tekemään, on varmistettava rakennesuunnittelijalta riittävä jatkospituus, mikäli sitä ei ole määritetty. Jatkoksia voidaan tehdä limijatkoksilla, hitsaamalla tai muhvijatkoksien. /6, 281-282/

Mikäli on mahdollista, niin myös rautojen sitominen ja tarvittaessa hitsaus tehdään valmiiksi raudoittamossa. Mikäli raudoitteita joudutaan hitsaamaan, on hitsaus tehtävä SFS-standardien mukaisilla menetelmillä /3,113/. Palkkiraudoitteiden, pilari ja anturaraudoitteiden kokoaminen on helpompaa raudoittamossa, kuin työmaaolosuhteissa. Raudoitteet voidaan sitoa joko käsin koukulla rautalankaa käyttäen tai koneellisesti sitomakoneella. Sitomakoneeseen on myös saatavissa esimerkiksi muovi- tai lasikuitulankoja, mikäli kohde niin vaatii.

Valmiit sidotut raudoitteet kuljetetaan työmaalle, ja nostetaan mahdollisuuksien mukaan suoraan muotteihin tai niiden viereen kuorma-auton nosturilla. Just On Time -periaatteen mukaisesti pyritään välttämään turhaa varastointia ja tuomaan materiaali työmaalle, kun sitä tarvitaan /8/. Raudoitteisiin ei saa tulla pysyviä muodonmuutoksia /3, 113/. Varastointi, kuljetukset ja siirrot täytyy opastaa ja valvoa, jotta vältetään materiaali hävikiltä ja esimerkiksi nostojen aiheuttamilta vaurioilta.

3.3.3 Raudoitteiden asennus



Kuva 11. Kuva holvin raudoituksesta.

Kun raudoitteet ovat työmaalla, aloitetaan niiden asennus muotteihin /6, 276/. Ennen asennusta raudoitteet puhdistetaan lumesta, jäädästä, hiekasta ja ruosteesta. Raudoitteet sidotaan mahdollisimman tukevasti välikkeiden avulla muotteihin. Raudoitteiden asennuksessa täytyy varmistua vaaditun suojabetonipeitteen saavuttamisesta. Myös tankojen vapaiden välien tulee olla vaatimusten mukaiset kiviaineksen tasaisen levittymisen varmistamiseksi. Tukeva asennus voidaan varmistaa apuraudoitteilla. Raudoitteet eivät saa liikkua betonoinnin aikana. /3, 113/



Kuva 12. Anturan lautamuotti ja valmis raudoitus.

3.3.4 Raudoituksen tarkastus

Raudoitukset on tarkastettava ennen betonointia, koska niiden korjaaminen jälkikäteen on todella vaikeaa ja yleensä mahdotonta. Työnjohto valvoo raudoitustyötä työaikana ja tekee tarkastuksen ennen betonointia. Raudoitus ei saa muuttua työn aikana eikä sen jälkeen. /6, 284/

Raudoituksen tarkastuksen tulee sisältää seuraavat asiat:

- Raudoituksen laadun tarkastus.

Raudoituksen tulee olla tehty samasta teräslaadusta kuin piirustuksiin on merkattu. Tankojen pintaviat ja ruosteisuus tarkastetaan. Raudoitteiden pinnalla ei saa olla tartuntaa huonontavia aineita, kuten jäätä, rasvaa, vaseliinia, muottiöljyä,

kovettunutta betonia tai likaa. Raudoitteiden lukumäärän, tankojen läpimitan ja jakovälin tulee täsmätä piirustusten kanssa. / 6, 284/

- Sijainnin tarkastus.

Niiden tulee sijaita piirustusten mukaisessa paikassa, korossa ja tankojen etäisyyden tulee olla riittävä betonin runkoaineksen levittymisen vuoksi. Myös betonipeitteen paksuus eli raudoitteiden etäisyys muotista tarkastetaan. Raudoitusten mitat, taivutussäteet, jatkospituudet ja suunnitelmien mukaiset ankkurointipituudet tarkastetaan. /6,284/

- Raudoitteiden tuennan ja sidonnan tarkastus.

Raudoitteiden tulee kestää muuttumatta betonoinnin aiheuttama rasitus. Välikkeiden ja asennustankojen riittävyys tarkastetaan. Samalla varmistetaan betonoinnin edellytykset eli onko valua vaikeuttavia raudoituksia. Betonin tulee päästä täyttämän muotit täydellisesti. / 6, 284/. Tarkastuksen yhteydessä tehdään myös muottien tuennan tarkastus.

3.4 Betonointi

Betonointi on paikallavalurakenteen työvaiheista kriittisin. Betonoinnin ja valutapahtumaan kuuluvat työt betonimassan tilauksesta aina valun ja tiivistyksen jälkeen jälkihoitoon ja muottien purkamiseen. Laadukkaan lopputuloksen saavuttamiseksi on kiinnitettävä huomiota oikeaan betonilaatuun ja valuolosuhteisiin, tehokkaaseen siirtoon ja logistiikkaan sekä ammattitaitoiseen valuun ja tiivistykseen.

Ennen betonointia varmista työryhmän riittävyys, jokaiseen työtehtävään on mietittävä tekijä ennen työn alkamista. Vastuuta työntekijät ja opasta heidät työtehtävään riittävän ajoissa. Betonointi on fyysisesti raskasta, joten suurissa valuissa työtehtävien vuorottelu voi olla tarpeen. Myös yllättäviin tilanteisiin

kannattaa varautua. Järjestä esimerkiksi holvivaluissa omat työntekijät tarkkailemaan muottien tuentaa ja kiristämään niitä tarvittaessa.

Oikeanlaista jälkihoitoa ja viimeistelyä ei saa unohtaa. Betonirakennetta tuotettaessa laadunvalvonta tulee olla itseisarvo. Betonointipöytäkirja, lämpötilanseuranta, toimitustodistus ja valokuvat ovat ainoita dokumentteja, millä betonirakenteen laatu voidaan taata tilaajalle.

3.4.1 Betonin tilaus

Tehokkaan paikallavalurakentamisen edellytyksenä on aikataulussa pysyminen. Valun viivästyminen muutamalla tunnilla tai siirtyminen seuraavaan päivään voivat sotkea muottikierron ja viivästyttää aikataulua. Ongelmat kertaantuvat pitkällä aikavälillä, joten oikean betonilaadun tilaus ja toimitusajan varmistaminen hyvissä ajoin on suositeltavaa. Betoniasemasta riippuen betoni on tilattava 1-4 päivää ennen suunniteltua valua. Jos työmaalla on paljon toistuvaa valua, betonin toimittaja on hyvä kilpailuttaa ja sopia etukäteen valupäivät ja betonitoimitukset.

Betonitilauksessa ilmoitettavia tietoja:

- Tilaaajan nimi, osoite ja puhelinnumero ja laskutusosoite
- Valuosoite, työmaan puhelinnumero ja yhdyshenkilö
- Betonin käyttökohde
- Kokonaistarve betoniasemasta riippuen, joko kuutioina m^3 tai satoina litroina, huomioi pumppukaluston aiheuttama hukka, joka on noin 200 litraa
- Laatuvaatimukset, esim. rakenneluokka, lujuusluokka, raekoko, notkeus, sementin tyyppi.
- Erityisominaisuudet, esim. vedenpitävyys, lisäaineet, massan lämpötila, pakkasenkestävyys, ilmapitoisuus, pumpattavuus
- Toimituspäivä, valun alkamisaika ja valutauot. Ajankohdat on varmistettava vielä valupäivänä betoniasemalta. Sovi alkamisajankohdan lisäksi myös muiden kuormien tuloajat
- Valutapa ja valunopeus, esim. kuormaa/h, m^3/h ja m^3/kuorma

- Kuljetusautotyyppi, (betoni ei aina tule pumppuautolla)./2, 57–58/

Betonin toimittajan kanssa voidaan myös sopia lujituksenkehityksen määrittämisestä tai ylimääräisten koekappaleiden tekemisestä. Betoniasemilta on myös saatavilla usein vuokralle lämpötilanseuranta varten mittausanturit, jotka lähettävät lämpötilatiedot suoraan betoniasemalle, jossa lasketaan betonin lujituksenkehitys tai ohjeistetaan seurantatietojen perusteella valun jälkihoidossa.

3.4.2 Betonimassan siirrot

Betonin siirtojen päätavoitteena on saada massa muotteihin kahden tunnin kuluessa vedenlisäyksestä betoniin /2,58/. Betoniasemat toimittavat massan työmaalle joko allassäiliöautolla tai nykyään yleisimmin sekoitussäiliöautolla. Yhteen kuormaan mahtuu säiliöstä riippuen 3-10 m³ betonia. Betonin vastaanottoon työmaalla täytyy varata tila. Riittävät kääntymispaikat, tiepohjan ja alustan kestävyys ja kaluston puhdistus kannattaa suunnitella etukäteen. Alustan tulee olla riittävän tukeva, jotta auto ei jää kiinni tai tukijalat painu maahan. Varaa muovia tai levyä alustaksi pumpun tyhjentämiselle. Pumppuun jää aina noin 200 l ylimääräistä betonia, joka on laskettava maahan. Kaluston puhdistuksessa tuleva sementin sekainen vesi sotkee tehokkaasti pihakivet tai uuden asfaltin, joten betoni auton sijainti kannattaa miettiä tarkkaan.

Betoni voidaan työmaalla siirtää valettavaan kohteeseen pumppuautolla, jonka puomissa olevalla putkella massa siirretään muottiin. Pumpun kantomatka on auton nosturista riippuen noin 30m ylös tai saman verran eteenpäin. Betonointi on aloitettava kauimmaisesta pisteestä ja valun edetessä puomia vedetään takaisin autoon päin. Massan siirto onnistuu myös putkielementeistä koottavalla linjalla ja erillisellä pumpulla jopa 700m vaakasuunnassa ja 400m pystysuunnassa. /2, 67-68/

Betonin siirroissa pumppukalustolla on otettava huomioon tarvittava tila toiselle betoniautolle, jolla tuodaan massaa lisää. Täydennysauton on päästävä peruuttamaan auton takaosa kiinni pumppuauton takaosaan. Varmista aina betonin toimittajan kaluston ulottuvuudet ja ominaisuudet, kun suunnittelet siirrot.



Kuva 13. Pumppuauto ja Betonin siirtoauto.

Betoni voidaan vastaanottaa työmaalla myös betoniauton ränniä tai kuljetinta pitkin suoraan valettavaan kohteeseen tai rännistä vastaanottosiiloon tai baskettiin (nostoastia). Siilotyyppejä on useita erilaisia ja niitä voidaan siirtää valukohteeseen joko hydraulisesti (pilarisiilo), traktorilla vetämällä tai nosturilla holville. Vastaanottosiiloa tai baskettia nosturilla siirrettäessä voidaan betoni valaa suoraan muottiin tai siirtää kärryillä muottiin. Kärryillä siirrettäessä on varattava tarpeeksi työvoimaa valua varten. Siilo ja basketti on kasteltava ennen käyttöä puhdistamisen helpottamiseksi. /2, 59-67/

Siirroissa on otettava huomioon myös työturvallisuus. Vastaanottosiilon kantavuus ja nostolenkkien toimivuus tulee tarkastaa. Työntekijöiden tulee varoa siirtokaluston äkkiäisiä liikkeitä niin holvilla kuin telineillä valettaessa. Merkinanto nosturinkuljettajan ja valuryhmän välillä on oltava selkeää /2,69/. Pitää myös varmistaa, että työntekijät osaavat oikeaoppisen merkinannon ja tarvittaessa varusta heidät radiopuhelimella. Usein on myös mahdollista, että pumppuauton kuljettaja pystyy ohjaamaan nosturia kauko-ohjaimella valuryhmän kanssa samasta paikasta.

3.4.3 Betonin valu ja tiivistys

Betonirakenteen valussa tavoitteena on saada mahdollisimman tasalaatuisena pysyvä massa täyttämään muotti mahdollisimman tiiviisti ja saumattomasti.

Tavoitteen saavuttamiseksi betonointi tulee tehdä oikealla nopeudella, oikeaan suuntaan, oikeanlaisina kerroksina ja kunnolla tiivistäen. Valumenetelmät poikkeavat toisistaan valettavasta kohteesta riippuen. Lattiavalun tekeminen on esimerkiksi palkkien tai anturoiden valamista tarkempaa ja sisältää erilaisia työvaiheita. Työohjeita ja työmenetelmiä on koottu erikseen oppaaseen, ja koska ne kuuluvat yrityksen oman tietotaidon piiriin. Seuraavassa on käsitelty yleisesti betonin valua ja tiivistämistä.

Tasalaatuinen betoni on lujaa. Siksi betonoitaessa on vältettävä massan erottumista. Oikea valukerroksen paksuus on 300–500 mm. Valukerroksen paksuuteen vaikuttavat massan notkeus, raudoitus, rakenne ja vaatimukset. Holveja tai lattioita valettaessa massaa ei saa ”valuttaa”. Massa päästetään basketista tai putkesta valusuuntaa vastaan, eli edetään selkä menosuuntaan. /6, 317–319/

Massaa ei saa myöskään pudottaa muottiin liian korkealta, koska tällöin runkoaines erottuu. Vapaa pudotuskorkeus saa olla enintään 1,5 m /6, 318/. Pilareita betonoitaessa käytetään valusuppilaa tai sukkaa /2, 71/. Massa lasketaan suoraan lopulliselle paikalle, ja sitä voidaan siirtää korkeintaan lapiolla. Massan siirtäminen sauvatäryttimellä on kiellettyä. Ohuita ja runsaasti raudoitettuja seinärakenteita valettaessa massa voidaan pudottaa raudoitteiden läpi. Tällöin on kuitenkin pidettävä valunopeus riittävänä, jotta betoniroiskeet eivät ehdi kovettua paljaana oleviin teräksiin. /2, 81; 6, 317–319/

Betonin valunopeus pystyrakenteilla eli nousunopeus on hyvä olla korkeintaan 500–1000 mm tunnissa. Suurella valunopeudella betonista erottuva vesi voi jäädä terästen ja runkoaineen alle. Tämä aiheuttaa onkaloita, huokosia ja halkeilua betonille. Vedenerottuminen aiheuttaa myös plastista painumaa ja halkeilua. /6, 317–319)

Tiivistämällä betoni saadaan massa täyttämään muotti kauttaaltaan, ympäröimään teräkset ja massan runkoaineen osat siirtyvät lähemmäs toisiaan. Tiivistämällä poistetaan massasta ylimääräinen ilma. Tiivistämisen tuloksena betonista tulee kestävä ja lujaa. Tiivistämättömässä betonissa on suuri huokoisuus, kivipesiä,

epätasainen pinta, teräkset voivat olla huonosti tarttuneita ja betonin tartunta raudoitteisiin liikuntasaumoissa on heikkoa. Huonon tiivistämisen seurauksena betonin lujuus ja säänkestävyys huonontuvat /2, 72/. Työsaumojen tiivistämiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota, katso kappale 3.4.8 Mahdolliset virheet ja betonipintojen vauriot.

Tiivistäminen voidaan tehdä sauvatäryttimillä, joita on saatavana vuokraamosta sähkö ja polttomoottorikäyttöisinä. Sauvatäryttimillä voidaan tiivistää seinärakenteet, palkit, pilarit ja pienet lattiarakenteet. Täryttimen koko valitaan, siten että se mahtuu vaivatta raudoitteiden välistä ja taipuisa putki yltää muotin pohjalle saakka. /2, 72-74/

Betonia tiivistettäessä tärysauva annetaan upota omalla painollaan massaan mahdollisimman pystysuoraan ja sauva vedetään riittävän hitaasti pois, kun pintaan nousee sementtiliimaa ja ilmakuplien nousu lakkaa. Tärytys kestää noin 10–20 s. Massaa ei saa täryttää liikaa, jotta kiviaines ei erotu tai muotti hajoa. Täryttäminen tulee tehdä järjestelmällisesti. Sauvatäryttimen vaikutusalue riippuu täryttimen koosta ja tehosta, yleensä noin 300–1000 mm. /2, 72-74/

Pintatäryttimillä, joita ovat tärylevyt, -palkit ja -sillat, tiivistetään laattarakenteita. Yleisimmin käytetään tärypalkkia, joka on 1-5 m pitkä puinen tai metallinen palkki, jossa on kiinni moottoritärytin. Palkkia siirretään palkin reunoille asetettuja johteita (lankut tai teräkset), muottien reunoja tai olemassa olevaa valmista betonilattiaa pitkin kuljettaen. Palkkia voidaan vetää köysillä tai vetokahvasta valusuuntaan edeten. Massaa jätetään palkin eteen hieman liikaa, jotta tiivistyessään pinta olisi halutussa korossa ja tasainen. Palkin toimintasyvyys on noin 150 mm. /2, 75/

Tärysillat toimivat tärypalkkien tapaan, mutta ovat niitä massiivisempia ja raskaampia metallipalkkeja. Tärypalkit ovat lähes aina kahden miehen käsiteltäviä tai koneellisesti liikkuvia ja niillä on aina oltava tukena johteet. Tärypalkkien toimintasyvyys on 150–200 mm /2,76/. Tärypalkkeja käytetään yleensä massiivisten maanvaraisten laattojen valuissa ja suurilla pinta-aloilla.

Raskaasti raudoitetut seinät ovat hankalia tiivistää ja niissä voidaankin käyttää muottiin kiinnitettäviä täryttimiä. Muottitäryttimet voidaan asentaa muotin pintaan jälkikäteen tai ne voivat olla muotissa kiinteästi kiinni. Jälkikäteen asennettavia muotteja voi siirtää tarpeen mukaan valun edetessä. /2, 76/

Betonoinnin päättyessä viimeistellään valupinta rakenteesta riippuen suunnitelmien mukaan, ja varmistetaan valun päättymistapa, eli jätetäänkö työsauma vai onko päätöskohta lopullinen. Lähes aina valupinnat tulee liipata tai hiertää, vaikka kyseessä olisi antura valu. Viimeistely pinta on kestävämpi. Mittatarkalta ja tasaiselta pinnalta on helpompi ja nopeampi jatkaa seuraavaa työvaihetta. Työn päätteeksi työvälineet puhdistetaan ja työalue siivotaan.

3.4.4 Jälkihoito

Jälkihoidon tavoitteena on turvata betonin lujuudenkehitykselle optimaaliset olosuhteet. Jälkihoito on valetun rakenteen suojaamista säältä, haihtumiselta ja rakenteen pitämistä oikeassa lämpötilassa ja kosteudessa /6, 331/. Jälkihoitoaika riippuu rakenteesta ja olosuhteista, yleensä se on noin 3-14 vrk. /2, 151/

Taulukko 6. Taulukossa on esitelty suositellut vähimmäisjälkihoitoajat eri betonilaaduille. /3,123/

Betonin lämpötila [°C]	Aika [d], jolloin saavutetaan 60% nimellislujuudesta			Aika [d], jolloin saavutetaan 70% nimellislujuudesta			Aika [d], jolloin saavutetaan 80% nimellislujuudesta		
	K30	K30	K45	K40	K45	K40	K45	K40	K45
10	11	11	9	17	15	13	26	24	22
20	6	6	4,5	9	7,5	6,5	14	12	12
30	3,5	3,5	3	5,5	4,5	4	8	7,5	7
40	2,5	2,5	2	3,5	3	3	5,5	5	5

Jälkihoito on aloitettava mahdollisimman nopeasti betonoinnin päättyttyä. Valettu rakenne suojataan vesisateelta, pakkaselta, tuulelta ja vedolta käyttämällä tarvittavia sääsuojia, jäähdytystä tai lämmitystä. Betonin kovettumisreaktio tarvitsee vettä, joten veden haihtuminen on estettävä. Haihtumista lisäävät tuuli, ilman ja betonin korkea lämpötila ja kuiva ilma. Betonin jälkihoitovaiheessa tulee välttää tuuletusta ja kuivausta, peittää valu muovilla tai kosteilla peitteillä ja

kastella sitä säännöllisesti. Haihtumista estämään voidaan käyttää muovikalvoa, märkää kangasta tai puumuottia. Kemialliset jälkihoitoaineet ovat myös suositeltavia hidastamaan haihtumista. /2, 150-152/

Taulukko 7. Jälkihoitomenetelmät.

Jälkihoitomenetelmät	
Suojaaminen säältä, tuulelta, vedeltä ja vedolta	<ul style="list-style-type: none"> • Peittelemine muovilla ja pressuilla • Muotit • Vedottomat olosuhteet • Jälkihoitoaine
Kosteana pitäminen	<ul style="list-style-type: none"> • Kastelu • Muovi • Jälkihoitoaine • Ilmankosteuden seuranta
Lämpötila	<ul style="list-style-type: none"> • Tuuletus (mikäli pinta on suojattu vedolta) • Jäähdytysputket massiivisissa rakenteissa • Lämmitys talvella • Sääsuojaus • Lämpötilanseuranta

3.4.5 Muottien purku ja puhdistus

Betonin saavutettua riittävän lujuuden voidaan aloittaa muottien purkaminen. Menetelmät purkamislujuuden määrittämiseksi voit tarkastaa kohdasta 3.1.3 Lujuudenkehitys. Muotin sekundääriset tuet, jotka eivät kannaa rakenteelle tulevia kuormia, voidaan purkaa jo aikaisemmin. Muotteja purkaessa tulee kiinnittää huomiota työturvallisuuteen, purkamisjärjestykseen ja lisätuentaan. Muotteja purkaessa valettua rakennetta tai muotteja ei saa vaurioittaa tai aiheuttaa niille lisäkuormaa.

Muottien purkaminen aloitetaan kuormittamattomista rakenteista. Esimerkiksi palkkien sivulaudat poistamalla voidaan tarkastaa, onko valu onnistunut. Mikäli valussa on epäonnistuttu, voidaan virheet korjata tuennan varassa. Holvivalun muottien purkaminen aloitetaan pystyrakenteiden eli pilarien ja seinien muottien purkamisella. Näin varmistutaan pystyrakenteiden kantokyvystä. /2, 153/

Kappaletavarasta tehdyn pilarimuotin purku aloitetaan poistamalla vinotuet, soljet ja lopuksi muottilaudat /2,153/. Muotit tulee purkaa maltilla ja varovasti ja tarpeetonta betonipinnan kolhimista tulee välttää. Ei ole järkevää turmella onnistunutta valupintaa tai muottimateriaalia repimällä ja kolhimalla sitä muottien purkuvaiheessa.

Pilarien ja seinien kasettimuotteja purettaessa poistetaan ensin alareunan kaikki muottisiteet ja ylhäältä kaikki yhtä lukuun ottamatta. Sitten muotit kiinnitetään nostolenkkeihin ja irrotetaan viimeinen yläside. Vinotuet löysätään ja muotti voidaan kiilata irti varovasti. Muotin irrottua puolisko nostetaan ja siirretään puhdistettavaksi ja purettavaksi. Seinän toisen puoliskon tuennasta tulee huolehtia vinositeiden poiston jälkeen. Muotin tukematon puolisko kannattaakin nostaa ensin pois. /2, 153, 159/

Kappaletavarasta tehdyt holvimuotit puretaan aloittamalla pystytukien vinositeistä. Kaikkia pystytukia ei poisteta kerralla. Pystytukia jätetään vähintään yksi kutakin niskaa kohden. Holvimuottia voidaan purkaa poistaen yksi pystytuki ja pudottamalla sitä vastaava niska kerrallaan. Kun tuki on irrotettu, voidaan holvin levyt tai laudat irrottaa holvista varovasti. Sitten jatketaan seuraavan pystytuen alueelle. /2, 157/

Kannatinpalkkijärjestelmällä esimerkiksi Doka-muoteilla valetun holvimuotin purkaminen aloitetaan pystytukien löysäämisellä. Osan pystytuista ja vinotuista voi poistaa liikkumisen helpottamiseksi. Pystytukia lyhennetään noin 150 mm, jotta ylimpiä kannatinpalkkeja voidaan irrottaa ja vetää pois. Seuraavaksi voidaan irrottaa itse muottilevyt ja laskea ne kannatinpalkkeja pitkin alas. Lopuksi kannatinpalkit ja pystytuet voidaan purkaa.

Sekä kappaletavara, että järjestelmämuotit tulee kasata järjestelmällisesti omille paikoilleen muottien purkamisen yhteydessä. Rakenteille ei saa aiheuttaa ylimääräistä kuormaa ja alustan, esimerkiksi holvin työn aikaisen lisätuennan tarve tulee varmistaa. Kappaletavaramuottien puutavara kannattaa kuljettaa ulos säilytettäväksi mahdollisimman pian palokuormaa lisäämstä.

Muottimateriaalille ja muottien osille on varattava säilytystilaa, jotta osat eivät katoa purkuvaiheessa. Järjestelmällisyys ja siisteys muotteja purkaessa ovat tärkeä osa työturvallisuutta ja ammattitaitoista työtä. Kadotetut tai rikutut muotin osat on korvattava muottien vuokraajalle. Muottikalusto on kallista, joten sen kunnosta kannattaa huolehtia.

Muottien purkamisen jälkeen muotit puhdistetaan. Puumuoteista poistetaan naulat ja ruuvit. Tuhoutunut materiaali laitetaan puunkeräykseen ja käyttökelpoinen materiaali lajitellaan uudelleen käytettäväksi. Järjestelmämuottien osat irrotetaan, puhdistetaan ja lajitellaan niille varatuille lavoilta tai laatikoihin. Osat lasketaan, rikkoutuneet merkataan ja kirjataan ylös. Muottipinnat puhdistetaan pesemällä tai harjaamalla ja petkeleellä raaputtamalla. Ne voidaan myös öljyt. Kasettimuottien sivut ja reunat tulee puhdistaa hyvin, etenkin muottien läpi menevät rassien reiät. Ne voidaan lyödä auki piikkausvasaralla. Muottien puhdistus on helpompaa mitä nopeammin sen tekee muottien purkamisen jälkeen. Vältä välivarastointia.

3.4.6 Valuolosuhteet ja talvibetonointi

Valuolosuhteiden ja etenkin sään vaikutusta betonointiin ei tule vähätellä. Kylmän ja pakkasen lisäksi myös tuuli, kuumuus tai vesisade on otettava huomioon paikallavalurakenteen tuotannossa. Varautuminen olosuhteisiin ja niiden muutoksiin on varmistavat hyvän lopputuloksen. Sääennustuksia seuraamalla voi varautua ja ennakoida. Ulos tulevaa betonilaattaa ei kannata betonoida, jos on luvassa ukkoskuuroja tai rakeita. Seuraavassa on taulukoitu työmaalla huomioon otettavia olosuhteita, joihin kannattaa varautua. Taulukon jälkeen on koottu tietoa talvibetonoinnista.

Taulukko 8. Valuolosuhteiden riskit ja toimenpiteet niiden ehkäisemiseksi.

Olosuhde	Riskit	Toimenpiteet
Kuumuus/ helle	Liian nopea kuivuminen ja haihtuminen, valun ja viimeistelyn vaikeutuminen. Betonin lujuudenkehitys häiriytyy ja loppuu liian aikaisin. Halkeilu ja mureneminen.	<ul style="list-style-type: none"> • Hidastin ja notkistin • Nopea suojaus ja jälkihoito • Jälkihoitoaineet • Valuajan siirto, valu illalla tai yöllä
Tuuli	Lisää pakkasen vaikutusta tai kesällä nopeuttaa haihtumista. Liian nopea kuivuminen, halkeilu, mureneminen.	<ul style="list-style-type: none"> • Suojaus tuulelta ja vedolta, ikkunat kiinni, pressut eteen jne. • Nopea suojaus
Sade	Lisää vesisementtisuhdetta, muuttaa koostumusta. Heikentynyt lujuus. Pintavauriot!	<ul style="list-style-type: none"> • Varaa sääsuoja ja pressuja mahdollisen ukkoskuuron varalta. • Vastuuta työntekijät suojaamaan. • Varmista sääsuojiin pysyvyys
Talvi ja pakkas	Betonin jäätyminen ja lujuudenkehityksen häiriintyminen. Sortuminen. Halkeilu liian nopean haihtumisen seurauksena. Jäisen maan päälle valettaessa rakenne painuu.	<ul style="list-style-type: none"> • Talvibetonoinnin huolellinen suunnittelu • Muottien sulatus ja puhdistus lumesta • Liittyvien rakenteiden lämmitys • Pakkasbetoni • Massan lämmitys • Jäätymisenestoaineet • Lämmittimet • Suojaus • Ei valua yli -15°C pakkasella

Talvibetonointi tulee suunnitella huolella ja estää kaikin mahdollisin keinoin betonin jäätyminen ja lujuudenkehityksen vaarantuminen, katso kappale 3.1.3 Betonin lujuudenkehitys. Talvibetonoinnissa tärkeää on huolellinen valmistelu ja jälkihoito, jolla turvataan hyvät olosuhteet.

Ennen talvivalua työmaalle varataan toimivat sulatus, suojaus ja lämmityslaitteet muiden valussa tarvittavien työkalujen lisäksi. Ennen muottitöitä ja raudoitusta suunnitellaan, miten rakenteen lämmitys ja suojaus hoidetaan. Suunnittele myös lämpötilanseurannan toteutus. Pakkasenkestävän tai lämmitetyn betonin saatavuus on hyvä tarkastaa betoniasemalta. Kuumabetonia käytettäessä päästään lyhyempään suojausaikaan ja muottikierto nopeutuu. Betonirakenne on suojattava jäätymiseltä ja kosteuden haihtumiselta myös muottien purun jälkeen.

Varmista sähkölämmittimiä käytettäessä, että lämmitys ei katkea yöaikaan esim. sulakkeen tai keskuksen ylikuumenemisen vuoksi. Suojaus voidaan huomioida jo muotteja tehtäessä tai muottijärjestelmää valittaessa esimerkiksi käyttämällä styrox- muotteja tai valmiiksi eristettyjä ja lämmitettyjä suurmuotteja.

Raudoituksen yhteydessä voidaan asentaa muotteihin sähköiset lämmityslangat. Ennen betonointia muotit ja raudat puhdistetaan lumesta ja jäästä höyrysulatuksella eikä missään tapauksessa betonin omalla lämmöllä. Mikäli valu rajoittuu kylmään pintaan esim. maahan, kallioon tai kylmään betoniin, täytyy muotit lämmittää vastuksilla, infrapunalämmittimillä tai höyryllä. /2, 104/



Kuva 14. Seinämuottiin on asennettu siniset lämmityslangat.

Talviolosuhteissa betonointi on hoidettava nopeasti, joten valuun on varattava tarpeeksi työvoimaa. Massa siirretään mahdollisimman nopeasti suoraan muottiin, mieluiten pumpulla. Turhaa kärräämistä ja siirtelyä vältetään. Betoni tiivistetään hyvin ja jälkihoito sekä sääsuojaus aloitetaan välittömästi. Työntekijöiden kanssa on sovittava suojaamisesta ja vastuuttaa työtehtävät. Suojauksen voi sisällyttää urakkaan./2, 103-113/

Lämpösuojaus ja lämmitys tulee kestää niin kauan kuin jäätymislujuus 5kN/mm^2 saavutetaan, kts. 3.1.3 Lujuudenkehitys. Muotit voidaan suojata lämpöeristeillä, eps-levyillä ja vuokraamosta saatavilla lämpöpeitteillä ja matoilla. Lämpöpeitteillä sekä kevytpeitteillä rajataan alueita, joita voidaan lämmittää puhaltimin. Valun yläpinta pyritään suojaamaan niin, ettei ilma pääse kiertämään ja viilentämään pintaa. Suojauksen tulee olla mahdollisimman tiivis ja etenkin tartuntaraudoituskohdat tulee suojata riittävän hyvin. Tartunnat saattavat rikkoa peitteet ja on hyvä käyttää ”vemoja” eli vastakierrehylsyjä tartuntojen jatkamisessa jos mahdollista. Seuraavassa on muutamia esimerkkejä suojauksesta.

3.4.7 Työnaikainen laadunvalvonta

Betonoinnin aikainen laadunvalvonta koostuu työsuoritusten seurannasta, betonimassan ominaisuuksien tarkkailusta ja muottien ja raudoitteiden tarkastuksista ja tarkkailusta. Muottien ja raudoitteiden tarkastukset on käsitelty jo aiemmin omissa kappaleissaan 3.3.4 Raudoitusten tarkastus ja 3.2.4 Muottien tarkastus. Seuraavassa käydään läpi betonoinnin työsuorituksen valvontaa ja betonointipöytäkirjan sisältöä.

Betonointityön laadunvalvonta-asiakirja on betonointipöytäkirja. Betonointipöytäkirjan tulee sisältää kohteen yleistiedot, ajankohta, muotit, rauditus, betonin ominaisuudet ja toimitustiedot, betonoinnin toteutus, koekappaleiden tiedot ja jälkityöt /6, 210/. Betonointipöytäkirjaan liitetään raudoitusten ja muottien tarkastuspöytäkirjat sekä betonin rahtikirja. Jokaisesta valusta tulee tehdä pöytäkirja, koska sillä voidaan osoittaa työn laatu ja antaa takuu tilaajalle. Betonointipöytäkirja voidaan tehdä valmiille lomakkeelle,

WasaCon Oy:llä mestareita suositellaan tekemään se yrityksen omalle mallipohjalle.

Ennen betonointia rakenteelle tehdään tarvittavat katselmukset ja tarkastukset sekä täytetään tarkastuskortit. Peitettävät rakenteet kuvataan. Mikäli rakenteissa on puutteita, ne korjataan. Betonoinnin työsuorituksen valvonnan tarkoituksena on valvoa ja ohjata betonointi tapahtumaan betonointisuunnitelman mukaisesti /6, 330-333/. Työryhmän valvonta valutyön aikana mahdollistaa reagoinnin väärin työmenetelmiin tai toimenpiteisiin kaluston rikkoutuessa tai muottien pettäessä. Betonoinnin valvonnassa tulee kiinnittää huomiota seuraavaan:

Tarkastus ennen betonointia

- Tarkistetaan varaukset, kiinnikkeet, muotit, raudat ja mitat. Varmistetaan, että kaikki on oikein ja oikeassa paikassa eikä mitään puutu.

Massan ominaisuudet

- Massan tulee pysyä tasalaatuisena ja työstettävänä. Jos ominaisuudet heikkenevät, on työstömenetelmää muutettava tai massaa vaihdettava.

Muotin seuranta

- Muotteja ja niiden tuentaa seurataan valun aikana. Mikäli niissä tapahtuu liikkeitä ja muodonmuutoksia, valu nopeutta voidaan hidastaa, tuentaa lisätä tai valu keskeyttää vahinkojen välttämiseksi.

3.4.8 Mahdolliset virheet ja betonin vauriot

Yleisimpiä syitä teräsbetonirakenteiden turmeltumiseen, vaurioihin ja huonoon kantavuuteen ovat valmistusvirheet. Työvirheet ja etenkin huono jälkihoito aiheuttavat helposti betonirakenteelle suunniteltua alhaisemman lujuuden ja kuormankantokyvyn ilman näkyviä vaurioita tai merkkejä turmeltumisesta /7,265/. Jälkihoidon merkitystä betonirakenteen toteuttamisessa ei voi koskaan

korostaa liikaa. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että betonin valmistuksessa liika vesi on pahasta mutta jälkihoidossa sitä ei voi olla liikaa. Seuraavassa on koottu betonirakenteiden yleisimpiä valmistusvirheitä ja niiden aiheuttamia vaurioita.

Taulukko 9. Betonirakenteiden valmistusvirheitä /7,265/

Valmistusvirhe	Vaurio
Riittämätön jälkihoito	<ul style="list-style-type: none"> • Pintahalkeilu • Pakkasvauriot
Tiivistyksen/tärytyksen laiminlyönti	<ul style="list-style-type: none"> • Harva betoni, ”rotankolat” • Huonontunut betonipeitteen tiiveys • Heikentynyt lujuus
Liian pitkä tärytys	<ul style="list-style-type: none"> • Runkoaineen erottuminen
Liian ohuet suojabetonipeitteet	<ul style="list-style-type: none"> • Terästen ruostuminen • Betonipeitteen halkeilu • Ruostevalumat • Teräket pinnassa ja näkyvillä
Liian suuri vesi-sementtisuhte	<ul style="list-style-type: none"> • Heikentynyt lujuus ja rakenteen alentunut kapasiteetti
Terästen virheellinen sijainti tai puuttuminen	<ul style="list-style-type: none"> • Rakenteen alentunut kapasiteetti
Työsauman puutteellinen käsittely	<ul style="list-style-type: none"> • Alentunut leikkauskapasiteetti • Halkeamat • Mureneminen
Lämpökäsittely	<ul style="list-style-type: none"> • Alentunut lujuus • Mikrohalkeilu
Muottien huono tuenta	<ul style="list-style-type: none"> • Halkeilu • Muottien rikkoutuminen työaikana, työturvallisuusriski!
Muottien liian varhainen purkaminen ja tuenta alapuolisen rakenteen varaan	<ul style="list-style-type: none"> • Taipumat • Halkeilu
Terästen puutteellinen tuenta ja painuminen valun aikana	<ul style="list-style-type: none"> • Terästen liikkuminen ja alentunut kapasiteetti
Huokoistuksen puute	<ul style="list-style-type: none"> • Pakkasvauriot

Teräsbetonirakenteiden valmistusvirheet johtuvat usein huolimattomuudesta tai suunnitelmien laiminlyönnistä. Virheillä paikallavalurakenteiden toteutuksessa voi olla vakavat vauriot niin betonirakenteen kantavuudelle, työturvallisuudelle ja käyttöiälle. Usein virheet näkyvät vasta vuosien päästä. Työvirheiden korjaus on usein työlästä, kallista ja usein jopa mahdotonta. Työvirheiden välttämiseksi paikallavalurakenteen toteutuksessa on panostettava työn suunnitteluun ja työnaikaiseen valvontaan virheiden välttämiseksi.

4 TUOTANNON SUUNNITTELU

Paikallavalurakenteen tuotannon suunnittelussa on otettava huomioon betonin ja paikallavalurakenteen tuotanto kokonaisuutena. Esimerkiksi paikallavalurunko on yksi kokonaisuus, jonka tuotanto on suunniteltavana. Paikallavalurungon toteutus koostuu useista toistuvista työvaiheista.. Betoni on materiaalina haastava ja tuotannossa on osattava ottaa sen erityisominaisuudet huomioon. Tuotannon suunnittelun tavoitteena on toteuttaa laadukas ja kestävä paikallavalurakenne kustannustehokkaasti, turvallisesti ja nopeasti. Seuraavassa on käsitelty tuotannon suunnittelua työmaan näkökulmasta.

4.1 Tehtäväsuunnittelu

Huolellisella tehtäväsuunnittelulla luodaan edellytykset onnistuneelle ja tehokkaalle tuotannolle. Tehtäväsuunnittelu on osa yrityksen laadunvarmistusta. Tehtäväsuunnittelun tulee koostua paikallavalurakenteen ajallisesta ja

taloudellisesta suunnittelusta. Tehtävän laatuvaatimusten määrittäminen, laadunvarmistuksen suunnittelu ja ongelmiin varautuminen on myös osa rakenteen toteutusta. Tehtäväsuunnittelussa mietitään myös tehtävän aloitusedellytykset ja tehtävien sisältö ja päätetään keinot, kuinka tehtävää ohjataan ja valvotaan työn aikana.

Tehtäväsuunnitelman oleellisena osana on myös vastuualueiden määrittäminen. Kun jo suunnitteluvaiheessa jaetaan tehtävät ja sovitaan kuka vastaa esimerkiksi aikataulutuksesta, tilaa materiaalit, työporukan tai tarkastaa raudoituksen, ollaan tehtäväsuunnittelussa ja laadunvarmistuksessa oikealla tiellä. Tehtäväsuunnitelma tulee tehdä yhdessä osapuolten kanssa (mestarit, työpäällikkö, urakoitsijat, tarvittaessa tilaaja) ja asettaa yhdessä tavoitteet työnkululle.

Tehtäväsuunnitelma käydään läpi työntekijöiden kanssa ennen työhön ryhtymistä. Tätä vaihetta, jossa tieto periytetään työntekijälle, voidaan kutsua aloituspalaveriksi. Näin varmistetaan tiedon kulku työntekijälle saakka ja edellytykset työlle ovat kunnossa. Pöytälaatikkoon tehty hieno suunnitelma on turha, jos sitä ei toteuteta, periytetä työntekijöille tai valvota.

4.1.1 Suunnitelmien arviointi ja vaihtoehtoiset työmenetelmät

Tehtäväsuunnittelu ja laadunvarmistus aloitetaan tehtävän laatuvaatimusten auki kirjoittamisella/8, 53/. Tehtävän laatuvaatimukset löytyvät urakka-asiakirjoista, kuten pää- ja työpiirustuksista, työselityksistä ja hankeasiakirjoissa. Paikallavalurakenteen toteuttamisessa tärkeimpiä ovat rakennepiirustukset kuten tasopiirustus, mitta-, varaus ja tartuntapiirustukset, rakenneleikkaukset, detaljit ja raudoitussuunnitelmat. Raudoitussuunnitelmia ovat raudoituksen tasopiirustus, raudoitusdetaljit ja raudoiteluettelot. LVIS-piirustukset ja suunnitelmat on myös ehdottomasti tarkastettava/6, 197/. Ratu-kortit ja kirjat sekä rakentamisen yleiset laatuvaatimukset on myös hyvä tarkastaa tehtävää suunniteltaessa.

Suunnitelmista ja asiakirjoista kootaan tehtävän kannalta oleellinen tieto. Laatuvaatimuksia voivat olla esimerkiksi käyttöikä, paloluokka, betonin lujuus ja ominaisuus vaatimukset, betonipeite, raudoitus, toleranssit ja vaatimukset tuennalle. Vaatimukset ja suunnitelmien toteutettavuus tarkastetaan. Suunnitelmissa olisi hyvä kiinnittää huomiota seuraaviin:

- Mitoitus, onko mitat sidottu moduulilinjoihin?
- Toteutettavuus, mahtuvatko raudat todellisuudessa muottiin, pystyykö raudoitteita tekemään?
- Onko työ toteutettavissa turvallisesti.
- Onko kuvissa päällekkäisyyksiä tai risteämäkohtia? LVISA-kuvat, mitä varauksia kuvissa on.
- Kuinka työsaumat on toteutettu ja voiko niitä siirtää?
- Vaihtoehtoiset työmenetelmät. Voiko esim. kellarin seinän valaa kahdessa osassa, ensin suora seinä ja sitten pilasterit.
- Normaalista poikkeavat laatuvaatimukset, ovatko laatuvaatimukset korkeat vai onko rakenne suunniteltu liian matalilla laatuvaatimuksilla ja onko rakenne oikeassa rasitusluokassa.
- Tarkasta virheet, myös suunnittelijat tekevät niitä.

4.1.2 Aikataulu

Hankkeen aikataulutusta koostuu yleis-, rakentamisvaihe-, ja viikkoaikatauluista. Yleisaikataulun tekee pääurakoitsija rakennuttajan kokonaisaikataulun pohjalta. Se kuvaa koko hankkeen kulkua ja toimii rakennuttajan ja pääurakoitsijan valvonnan välineenä. Yleisaikataulussa esitetään keskeisien rakennusosien ja tehtävien aloitus ja lopetus sekä välitavoitteet. Aika esitetään työvaiheaikoina T4. Työn etenemistä yleisaikatauluun vertaamalla pääurakoitsija ja rakennuttaja voi tehdä ohjaavia toimia. /9, 27/

Rakentamisvaiheaikataulu on yleisaikataulun tarkennettu versio, joka tehdään tietyille rakentamisvaiheille työmaalla. Rakentamisvaihe aikataulu tehdään yleisaikataulun pohjalta tarkoituksena pysyä aikataulussa ja siihen nimetään

mitoitettut, tahdistetut ja toisistaan riippuvaiset työtehtävät. Aikataulu laaditaan käyttäen takkoja työmenekki tietoja, T3-aikaa ja sen tarkkuutena on yksi työvuoro puolen viikon tarkkuudella /9, 29-30/. Rakentamisvaiheaikataulun pohjalta tehdään tarkemmat viikkosuunnitelmat ja tehtäväsuunnitelmat.

Viikkoaikataulu tehdään yleensä vähintään kolmeksi viikoksi kerrallaan laaditun rakentamisvaiheaikataulun perusteella. Viikkoaikataulun teko voidaan yhdistää työ- ja tehtäväsuunnitteluun eli samalla käydään läpi, että tehtävän aloitusedellytykset ovat kunnossa tai milloin ne järjestetään.

Aikataulun valvonta, ongelmien ennakointi ja reagoiminen aikataulun hidastumiseen ovat keinoja aikataulussa pysymiseksi. Päivittäisellä aikataulun valvonnalla ja seuraamisella huomataan ongelmat ja voidaan tehdä tarvittavia muutoksia työn nopeuttamiseksi. Samalla kun valvotaan ja ohjataan työn etenemistä, suunnitellaan samalla seuraavia työvaiheita ja ennakoidaan tulevaa.

Keinoja aikataulussa pysymiseen paikallavalurakenteen toteuttamisessa:

- Resurssien lisääminen, lisää työryhmiä muottien purkuun tai raudoittamiseen.
- Muottikaluston oikea mitoitus ja muottikierto.
- Vaihtoehtoiset työmenetelmät, esim. laatan sisäiset palkit, valaminen ensin suorilla muoteilla ja pilarit vasta sitten, muottijärjestelmän vaihtaminen, rakenteiden vaihto elementeistä paikallavaluun tai päinvastoin.
- Lujuudenkehityksen nopeuttaminen eli lämmitetty betoni tai vaadittua lujempi betoni nopeuttaa lujuuden saavuttamista ja muottikiertoa.
- Betoni kuivumisessa päällystettäväksi auttaa NP- nopeasti kuivuva betoni ja kuivatus järjestelmät.

4.1.3 Paikallavalurakenteen kustannukset

Paikallavalurakentaminen on työvoittoinen työmenetelmä. Tästä johtuen se on hyvä tasoittamaan työmaan resurssitilannetta. Kun työt ovat vähissä, kannattaa

tehdä enemmän paikallavalua lomauttamisten välttämiseksi. Korkeasuhdanteen aikana, kun elementeillä on kova kysyntä ja hinnat nousevat, on paikallavalurakentaminen edullista. Työvoittoisuuden vuoksi työntekijöiden ammattitaito, palkkataso ja urakkapalkkaus antavat mahdollisuuden kustannusten minimointiin elementtirakenteisiin verrattuna.

Paikallavalurakenteen kustannukset koostuvat materiaalikustannuksista ja työkustannuksista. Materiaalikustannuksien minimointiin työmaalla voidaan vaikuttaa kilpailuttamalla ja vertailemalla. Paikallavalurakenteessa raudoitus, kiinnikkeet, betoni ja muotit aiheuttavat materiaalikustannuksia. Paikallavaluoppaaseen on koottu liitteeksi otteita rakennusosien kustannuksista, työmenekit ja taulukoita kustannusvertailuun työmaalla.

Raudoitus ja kiinnikkeet

- Kilpailuta terästentoimittaja ja keskitä tilaukset. Tilaa yhdessä muiden työmaiden kanssa.
- Halvin ei ole aina paras. Edullinen hinta voi kostautua saumaraudoitteiden kohdalla jälkityönä.
- Just On Time. Raudoituksen esivalmistelu ja kuljetukset säästävät työvoimakustannuksia. Esivalmistetut raudoitteet suoraan holville tai häkit muotteihin auton nosturilla.

Betoni

- Betonin toimittajan kilpailuttaminen.
- Vuosisopimukset

Muotit

- Kaluston vuokra. Järjestelmän kalliimpi vuokra voi maksaa itsensä nopeana työnä ja pieninä työvoimakustannuksina. Oikea määrä oikeanlaista muottia takaa nopean muottikierron ja kustannustehokkuuden.
- Rahti on suuri osa kustannuksista. Käytä yhteisrahteja ja tilaa samalla rahdilla.

- Kappaletavaramuottien kierrätys ja järjestelmämuottien tarkka kunnossapito ja puhdistus nopeuttaa työtä ja laskee kustannuksia.

Työvoima

- Urakka-palkkaus. Sisällytä urakkaan myös muottien purku ja puhdistus ja sanktio kadotetuista osista. Lumihankeen heitetyt muottilukot tulevat kalliiksi.
- Aliurakoitsija. Jos käytetään ulkopuolista alihankkijaa esim. raudoituksessa, on urakoitsijan ammattitaito hyvä varmistaa, esimerkiksi mallityöllä tai referenssikohteilla.

4.1.4 Laadunvalvonta ja laadunvarmistus

Urakoitsijan laadunvarmistus koostuu työmaan ja yksittäisten tehtävien laadunvarmistuksesta /8,48/. WasaCon Oy:llä työmaan laadunvarmistus hoidetaan oman laadunvarmistussuunnitelman ja laatukäsikirjan mukaisesti sekä tilaajan vaatimusten mukaan. Seuraavassa käsitellään yksittäisen tehtävän, betonoinnin laadunvarmistus ja sen osa-alueet.



Kuva 15. Kuvaus urakoitsijan laadunvarmistuksen osa-alueista.

Yksittäisten tehtävien laadunvarmistus koostuu yleisesti tehtäväsuunnitelmasta ja urakoitsijan omasta laaduntarkastuksesta. Tehtäväsuunnitelman osana ovat potentiaalisten ongelmien analyysi ja laatuvaatimusten auki kirjoittaminen. Pääurakoitsijan oman laaduntarkastuksen keinoihin kuuluvat ensimmäisen työkohteen, piiloon jäävien osien ja materiaalien tarkastus /8, 48-54/. Paikallavalurakenteen laadunvarmistus ja laadunvalvonta kuitenkin poikkeavat tästä oleellisesti. Ensimmäisen työkohteen, esimerkiksi palkin tai seinän raudoitteiden ja muottien tarkastus ei riitä. Paikallavalurakentamisessa laadunvalvonta ja tarkastukset on tehtävä jokaiselle rakenteelle.

Betonointisuunnitelman ja toteutuneen betonoinnin perusteella tehdään betonointipöytäkirja. Pöytäkirjaan liitetään muottien ja raudoitusten tarkastuspöytäkirjat ja valokuvat peitetyistä rakenteista. Liite 1. Betonointi pöytäkirjasta.

4.2 Työturvallisuus paikallavalurakentamisessa

Tässä kappaleessa käsitellään työturvallisuutta paikallavalurakentamisen näkökulmasta. Paikallavalurakenteen toteutus koostuu useista työvaiheista, joten

työturvallisuus on huomioitava niissä erikseen. Ennen työvaiheen aloitusta pidetään aloituspalaveri, tarkastetaan materiaalit ja suunnitelmat, tehdään tarvittavat suunnitelmat kuten muottien tuenta, nostotyö ja putoamissuojaussuunnitelma. Ennen työvaiheen aloittamista työntekijät opastetaan ja perehdytetään työn tekemiseen.

Opastuksessa on hyvä käyttää apuna Ratu-kortistosta saatavia Töiden turvallisuusohjeita. Ohje annetaan työntekijälle perehdyttämisen yhteydessä ja hän arvioi lomakkeeseen työn vaaratekijät /10, 45/. Seuraavassa käsitellään muottityön, raudoituksen, betonoinnin ja muottien purun aikana huomioitavia työturvallisuus riskejä ja toimenpiteitä niiden vähentämiseksi.

4.2.1 Muottityön turvallisuus

Muottityössä on tärkeää noudattaa muottisuunnitelmaa. Muottityössä on huomioitava seuraavat asiat:

- Muottien riittävä tuenta sekä työnaikana että varastoitaessa.
- Varo tuulta muottien nostoissa, muotti voi alkaa pyörimään. Käytä ohjausköyttä.
- Käytä putoamissuojausta ja kaiteita aina kun mahdollista. Asennuksen tiellä olevat kaiteet poistetaan vain juuri ennen tarvetta. Käytä turvalajaita aina, kun kaiteet joudutaan poistamaan.
- Pidä kulkureitit siisteinä ja valaistuina. Huolehdi myös työpisteen valaistuksesta. Poista jää ja lumi työskentelyalueelta.
- Varo muotin sähkölämmittimiä ja vastuksia tehdessäsi muottiin varauksia.
- Muottien purkamista ei saa aloittaa ilman työnjohdon määräystä. Pura muotit muottijärjestelmän vaatimassa järjestyksessä. Katso kohta 3.4.5 Muottien purku ja puhdistus.
- Nojatikkaiden käyttö on sallittu vain lyhytaikaisiin tehtäviin, esim. nostolenkkien kiinnittämiseen.
- Käytä muottityössä telineitä, työpukkeja tai henkilönostimia.

4.2.2 Raudoitustyön turvallisuus

Raudoitustyön työturvallisuuden parantamiseksi on huolehdittava seuraavista riskeistä ja vaaroista:

- Riittävä yleis- ja kohdevalaistus työkohteessa ja raudoitteita taivuttaessa.
- Asennettujen raudoitteiden pystypäät on suojattava muovitulpalla.
- Nosta tankoniput kiristyvillä nostolenkillä, esim. vaijereilla, ketju- tai liukurakseilla.
- Suojaa ympäristö, jos joudut käyttämään kulmahiomakonetta.
- Työtason putoamissuojaus. Valjaat tarvittaessa.
- Kulkuteiden ja työpisteen siisteys. Kokoa jäteteräkset niille varattuun paikkaan.
- Älä kävele holviraudoitteiden päällä.
- Telineillä ei saa olla siirtojen aikana tavaraa tai henkilöitä.
- Kiinnitä huomiota selän asentoon nostoissa. Oikean korkuiset pukit ja työtasot. Vältä raudoitteiden työstöä maassa.

Henkilökohtaiset suojavälineet:

- Viiltosuoja hanskat.
- Silmä- ja kuulonsuojaimet teräksien leikkuussa.
- Putoamissuojaimet.

/10,56/

4.2.3 Betonoinnin työturvallisuus

Betonoinnin aikana tulee huolehtia, kuten raudoituksessa ja muotityössä, putoamissuojauksesta, telineiden kunnosta sekä työalueen ja kulkuteiden siisteydestä. Ennen työtä varmista, että kaiteet esim. holvin ja muottien reunoilla ovat kunnossa ja määräysten mukaiset. Tutustu betonointisuunnitelmaan ennen työn aloitusta ja tee työ suunnitelman mukaan /10,57/. Lisäksi tulee varautua myös seuraaviin erityispiirteisiin:

- Tutustu koneiden käyttöohjeisiin ja turvallisuusmääräyksiin.
- Älä käytä viallisia työkoneita tai välineitä.
- Varmista, että telineille, pumpulle tai hihna-autolle on tehty käyttöönottotarkastus.
- Huolehdi raudotteiden päiden suojauksesta. Huolehdi työpisteen riittävästä valaistuksesta ja betoniroskeiden suojauksesta.
- Betonia pumpattaessa, keskeytä pumppaus heti, mikäli pumppukalusto tukkeutuu.
- Tutustu betonin ja jälkihoitoaineiden käyttöturvallisuustietoihin.

Henkilökohtaiset suojavälineet:

- Turvalvaajat, tarrain ja kelain jos putoamissuojaus ei ole esim. kaitein mahdollista toteuttaa.
- Suojalasit, valettaessa on betoni roiskumisvaara.
- Suojäkäsineet, betoni on emäksinen ja syövyttävä materiaali.
- Kuulosuojaimet betonin tiivistyksessä, jos melutaso on yli 85 dB.

/10,57/

5 PROJEKTIN IDEA JA TOTEUTUS

5.1 Taustaselvitykset

Ennen opinnäytetyön kokoamista selvitettiin tarve ja oppaan sisältö yhdessä työn tilaajan kanssa. Tilaajan työntekijät esittivät myös toiveita oppaan sisällölle. Toivottiin mm. betonintipöytäkirjan ja työvaiheiden kuvauksia sekä työturvallisuusohjeiden kokoamista yhteen. Tiedonhankintaa tehtiin syyskuusta 2013 alkaen, kun opinnäytetyön aihe oli päätetty. Tietolähteenä pidettiin

ensisijaisesti kirjallisuuslähteitä, kuten Suomen betoniyhdistyksen Betonitekniikan oppikirjoja ja Rakennusteollisuus Ry:n Ratu-kortistoa.

5.2 Työn suunnittelu ja toteutus

Opinnäytetyön aikataulu suunniteltiin syksyllä 2012. Loppuvuodesta 2012 tutustuin materiaaliin, hankin tietoa ja rajasin aihealuetta. Tammikuun alussa 2013 pidettiin aloituspalaveri, jossa lopullinen aihe päätettiin ja sisällysluettelo hyväksyttiin. Teoria osuuden kirjoitus, valokuvien muokkaaminen ja oppaan teko ajoittui 5.1.2013–15.3.2013 väliselle ajalle.

5.3 Oppaan kokoaminen

Opas koottiin teoriaosuuden pohjalta. Opinnäytetyön raporttiosuudesta karsittiin kaikki oppaassa epäolennainen pois, kuten projektin idea ja toteutus-, pohdinta ja arviointi- ja projektin idea ja toteutus sekä tiivistelmä. Oppaaseen tehtiin oma kansilehti ja tilaaja tallentaa sen Pdf-muodossa serverille työmaamestareiden käyttöön.

6 POHDINTA JA ARVIOINTI

Opinnäytetyön lähtökohtana oli tehdä opas työmaamestareiden käyttöön helpottamaan työmaamestarin työtä ja parantamaan asenteita valurakenteen toteuttamisessa. Ennakkoasenne opasta kohtaan oli kahtiajakautunut. Toisaalta työmaalta nähtiin oppaan tulevan tarpeeseen ja toisaalta sen sanottiin jäävän toimiston hyllyyn pölyttymään. Yhtä kaikki, oppaan laatiminen oli mielestäni opettava prosessi.

Tiedonhankinta, kirjallisuuslähteiden lukeminen, teoriaosuuden kokoaminen ja kirjoittaminen olivat antoisa kokemus. Opasta tehdessä opeteltu teoria ja työssä

opittu kokemus paikallavalurakentamisesta nivoutuivat yhteen kokonaisuudeksi. Huomasin myös kirjoitustyön aikana löytäneeni vastauksia ja selityksiä käytännön työssä toteutettaville ratkaisuille. Selityksiä miksi näin tehdään, esimerkiksi jälkihoidon tärkeys, karbonatisoitumisen vaikutus, suojabetonipeitteen tärkeys menivät ns. ”selkäyttimeen”.

Mielestäni onnistuin oppaan kokoamisessa kiitettävästi. Työtä aloittaessa pelkäsin aiheen paisuvan liian laajaksi ja yksityiskohtaiseksi. Koin ongelmaksi määrittellä, mihin osa-alueeseen syvenyisin yksityiskohtaisesti ja mitä esittää yleisellä tasolla. Mieli olisi tehnyt syventyä yhteen alueeseen kunnolla, mutta oppaan tarkoitus oli käsitellä aihetta laaja-alaisesti. Työn edetessä onnistuin poimimaan mielestäni aiheen kannalta tärkeimmät asiat ja tiivistämään ne kokonaisuuksiksi.

7 YHTEENVETO

Tehokas paikallavalurakentaminen on osatekijöidensä summa. Työn suunnittelu, muottityöt, raudoitus ja betonointi muodostavat yhdessä kokonaisuuden. Haasteensa rakenteen toteuttamiseen antavat betonin ominaisuudet ja paikallavalurakenteen eri työvaiheet muottityöstä jälkihoitoon. Paikallavalurakentaminen on monipuolista ja vaihtoehtoja työn toteuttamiseen on runsaasti. Pelkästään muottijärjestelmissä on lukuisia vaihtoehtoja.

Paikallavalurakentamisen työvaiheet asettavat omat vaatimuksensa työmaajärjestelyille. Jokainen työvaihe on suunniteltava ennalta ja varattava sille tarvittavat tuotannon tekijät kuten työntekijäresurssit ja materiaalit. Työ on myös valvottava, jotta se tehdään suunnitelmien mukaisesti. Työvaiheet vaikuttavat

myös työmaa-alueen järjestelyihin. Muottityöt, raudoitustyöt ja esimerkiksi betoniauto vaativat oman tilansa alueelta.

Hyvät muotit, onnistunut raudoitus sekä betonointi ja hyvä tiivistys eivät riitä takaamaan hyvää lopputulosta. Betonin jälkihoito on ensiarvoisen tärkeää. Mikäli jälkihoito laiminlyödään, voi lujuudenkehitys vaarantua ja rakenteen kantavuus ei ole riittävä.

Tehokas paikallavalurakentaminen on nopeaa, edullista, laadukasta ja turvallista. Jotta se olisi kaikkia näitä, on tuotanto suunniteltava, valvottava ja johdettava ammattitaidolla väheksymättä yhtään työvaihetta tai laadun osatekijää. Paikallavalurakentaminen on työmenetelmä, joka tulee kiistatta säilyttämään asemansa rakentamisessa.

LÄHTEET

/1/ Laitinen E. 1996. Teollinen betonirakentaminen. 1. painos. Helsinki. Rakennustieto Oy

/2/ Uusitalo, J., Ihamäki, J., Rajala, R., Vallin, O. 1994. Betonityöt. 2. painos. Helsinki. Rakennustieto Oy.

/3/ Suomen betoniyhdisty r.y. 2004. Betoninormit 2004 by 50. 1. painos. Helsinki. Suomen betonitieto Oy.

/4/ Merikallio, T. 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisarvionti. 1.painos. Helsinki. Suomen betonitieto Oy.

/5/ Mittaviiva Oy. 2010. ROK Rakennusosien kustannuksia 2010. 1.painos. Helsinki. Rakennustieto Oy.

- /6/ Suomen betoniyhdisty r.y. 2004. Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. 5. painos. Helsinki. Suomen betonitieto Oy.
- /7/ Kaivonen, J-A. 1994. Rakennusten korjaustekniikka ja talous. 1. painos. Helsinki. Rakennustieto Oy.
- /8/ Kankainen, J., Junnonen, J-M. 2001. Laatuajattelu ja rakennustyömaan laatutoiminnot. 1. Painos. Helsinki. Rakennustieto Oy.
- /9/ Mäki, Tarja – Koskenvesa, Anssi 2007. Aikataulukirja 2008. Helsinki. Rakennustieto Oy
- /10/ Koski Hannu, Mäkelä Tarja/VTT Rakentamisen liiketoiminnot ja prosessit 2010. Rakennustöiden turvallisuusohjeet Raturva 2. Helsinki. Rakennustieto Oy.
- /11/ Kivimäki Christian 2009. Ratu 1223-S. Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS 2009. Helsinki: Rakennustieto Oy
- /12/ Betoni- lehden verkkosivut. Mitä betoni on ja miten sitä valmistetaan. Viitattu 30.1.2013.
<http://www.betoni.com/paikallavalurakentaminen/valmisbetoniteollisuus/>
 valmistus
- /13/ Betonilehden verkkosivut. Betonin ominaisuudet ja käyttö. Viitattu 1.2.2013. <http://www.betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betonin-ominaisuudet-ja-kaytto>
- /14/ Luja betoni Oy:n verkkosivut. Valmisbetonilaadut ja yleisimmät käyttökohteet. http://www.lujabetoni.fi/ammattirakentajalle_betonilaadut
- /15/ Finnsementti Oy: verkkosivu. Betonin rasitusluokat lyhyesti. Viitattu 12.2. <http://www.finnsementti.fi/tietoa-betonista/tietoa-betonista-suunnittelijalle/betonin-rasitusluokat-lyhyesti>
- /16/ Rakennusteollisuus RTT ry:n ja betoniteollisuus yhdistyksen verkkojulkaisu. Betonirakenteiden suunnitteluperusteet. Viitattu 12.2.2013 http://www.eurocodes.fi/1992/paasivu1992/sahkoinen1992/Leaflet_2_Betonirakenteiden_suunnitteluperusteet.pdf
- /17/ Betoni-lehden verkkojulkaisu. Betonityypit ja oikean betonin valinta. Viitattu 12.3.2013
<http://www.betoni.com/paikallavalurakentaminen/betonityypit-ja-oikean-betonin-valinta>
- /18/ Uutela, J. 2013. Toimitusjohtaja. WasaCon Oy. Keskusteltu 9.1.2013
- /19/ Sillanpää, M. 2013. Työpäällikkö. WasaCon Oy. Keskusteltu 14.1.2013



BETONINTISUUNNITELMA JA PÖYTÄKIRJA
Rakennekohtainen

Rakennuskohde		Rakennusluvan nro	
Osoite		Puh	
Betonityönjohtaja		Betonilaborantti	
BETONOITAVA RAKENNE			
PERUSTIEDOT BETONISTA	a) kovettunut betoni	Lujuus- ja rakenneluokka	Pakkasen kestävyys
		Vedenpitävyys	
	Muut ominaisuudet		
b) betoni massa	Notkeus	Suurin raekoko	Sementti
	Lisäaineet ja annostus	Muut tiedot	
BETONITYÖT Suunnitelma		Pöytäkirja	
Betonoitava osa			
Betoni määrä m3			
Betonointinopeus m3/h			
Betonoinnin alkaminen Alkaa Päättyy		Alkoi Päätyi	
ja päättymisen klo			
Betoniin notkeus (painuma, sVB, MO, leviämä)			
Ilman lämpötila Ilma Betoni massa		Ilma Betonimassa	
Betonimassan lämpötila C			
Jälkihoito, betonin lämpötilan seuranta sekä lujuuden kehityksen arviointi			
Muottien purku (lujuus ja ikä)			
Erityismenetelmät, lämpökäsittely jne			
Koekappaleet (tunnukset, näytteenottopaikat)			
Häiriöt, varautuminen / toimenpiteet			
Muut tiedot, liitteet			
Päiväys	Betonityönjohtajan allekirjoitus		